

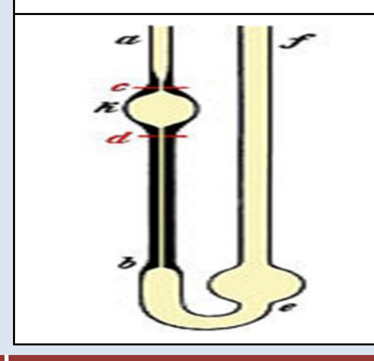
مبادئ الطبيعة

لطلاب كلية الزراعة

الفرقة الأولى





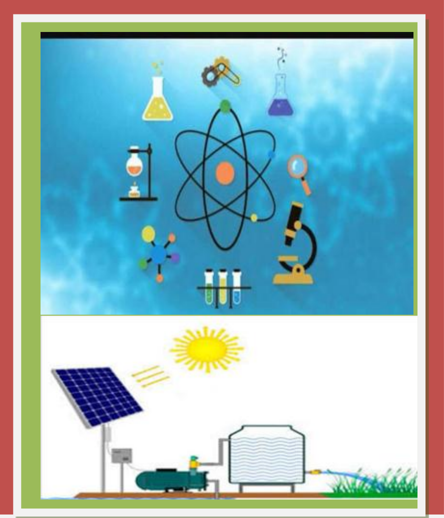


2020









قسم الأراضي والمياه



رسالة البرنامج Mission

امداد المجتمع بكوادر قادرة على مواكبة التكنولوجيا الحديثة لإدارة الموارد الأرضية والمائية بكفاءة، ومؤهلة على المنافسة فى سوق العمل محلياً وإقليمياً واجراء أبحاث علمية وتطبيقية تساهم فى خدمة المجتمع وتنمية البيئة

أهداف البرنامج

١) إعداد خريج ملم بمجالات علوم الأراضي والمياه والاستفادة منها فى تقييم الأراضي والمياه لتحديد أنماط الاستخدام الزراعي المناسب

٢) اعداد خريج على وعى بالتشريعات القانونية والأخلاقية والبيئية لإدارة الموارد الأرضية والمائية وصيانتها للمحافظة عليها واستدامة استخدامها.

٣) اعداد خريج قادر على استخدام ومواكبة التطور التكنولوجي في مجالات علوم الأراضي والمياه ومؤهلا للتنافس فى سوق العمل محليا وإقليميا.

٤) إعداد باحث قادر على التطوير المستمر والتعليم الذاتي ومؤهلا للالتحاق ببرامج الدراسات العليا

مقدمة

إن الهدف الأساسي من هذا الكتاب هو تغطية المهارات والمعارف المطلوبة لطلاب كلية الزراعة فعلم الفيزياء (الطبيعة) هو من العلوم الأساسية التي يحتاجها جميع دارسي الكليات العملية. وبداية يجب أن نسأل أنفسنا ما هو علم الفيزياء ولماذا نهتم بدراسته؟ وللإجابة عن هذا السؤال نوضح أولاً أن كلمة فيزياء أو طبيعة هى كلمة تصف كيفية علمنا بالكون والطبيعة المحيطة بنا وكيفية العمل النظامي لها وذلك من خلال الملاحظات والمشاهدات واستنتاج النظريات والقوانين الملائمة مع ملاحظاتنا واستنتاجاتنا، فعلم الفيزياء هو القاعدة الأساسية لمختلف العلوم فهو يقدم التفاصيل العميقة لفهم كل شيء بدءاً بالجسميات الأولية إلى النواة والذرة والجزيئات والخلايا الحية والمواد الصلبة وحالات المادة الأربعة: الصلبة، السائلة، الغازية والبلازما وأيضا فهم الأنظمة المعقدة والكمبيوترات السريعة والغلاف الجوي والكواكب والنجوم والمجرات.

وتعتبر العلوم الزارعية من العلوم التطبيقية التى تستخدم العلوم البحتة بما فيها من مفاهيم كمية لتطبيقها وتفسير الظواهر المختلفة فى المجالات المختلفة لها، لذا يهتم هذا الكتاب بالمبادئ الأساسية لعلم الفيزياء، ويحتوي هذا الكتاب على سبع وحدات عالجت عددا من الموضوعات في مجال الفيزياء وهي الوحدات والأبعاد، القوى والحركة، الضوء، خواص السوائل، الكهربية، المغناطيسية وأخيراً الحرارة والطاقة الشمسية. وقد قام معدي الكتاب بالتنويه في نهاية كل وحدة إلى ذكر بعض التطبيقات لكل موضوع في المجالات الزراعية المختلفة، كما تم ادخال التجارب العملية ضمن موضوعات الكتاب كي تساعد الطالب على التأكد من الفهم والتحصيل.

ونتمى أن يحقق الكتاب في صورته الجديدة كل ما نصبوا إليه لأبنائنا الطلاب مع دعواتنا لهم بالنجاح والتوفيق، والله من وراء القصد.

أسرة برنامج الأراضي والمياه
زراعة الأزهر بالقاهرة

الوحدة الأولي: الوحدات والأبعاد

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- الأبعاد والوحدات المستخدمة فى القياس
- نظم الوحدات القياسية
- تحليل الأبعاد القياسية

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- معرفة الكميات الفيزيائية الأساسية والمشتقة
- معرفة الوحدات المستخدمة في القياس وخصوصاً في المجال الزراعي
- معرفة نظم الوحدات المستخدمة في بلدان العالم
- أهمية دراسة الأبعاد في الحياه العملية

الفصل الأول: النظام الدولي للوحدات وتحليل الأبعاد القياسية
International System of Units and Dimension Analysis

ما الفيزياء:

الفيزياء: ذلك الفرع من المعرفة الذى يعطى إجابات منظمة عن أسئلتنا حول العالم الطبيعي، كما أنها تمثل عملية الحصول على هذه الإجابات والتي تعرف عادة بالطريقة العلمية، فالفيزياء: هو العلم الذي يهتم بدراسة كل من المادة والطاقة والتفاعل بينهما، كما يهتم بمفاهيم أخري كالفضاء والزمن والخصائص الكونية المحسوسة، أو العلم الذي يدرس الطبيعة، أو كل شيء موجود فى هذه الطبيعة.

والأداتان الأساسيتان فى الفيزياء هما المنطق والتجريب، وهذا متمثل فى مختلف الاختراعات الحديثة الليزر إلى رقائق الراديو المتكاملة، ومن المولد الكهربائي إلى المحرك النفاث، ومن أجهزة الراديو والتليفزيون والأجهزة المستخدمة لإنقاذ الحياة وغيرها، كل هذه الإنجازات قد تحققت بفضل الفضول العلمي الذى نعيش فى ظلاله كل لحظة من لحظات حياتنا.

وهناك افتراضان أساسيان خلف إيماننا بالطريقة العلمية كأسلوب لفهم ما يسمى الفيزياء:

الأول: أن النتائج العلمية قابلة للاستعادة بمعنى أن نفس الظروف تعطى دائماً نفس النتائج العلمية فى نفس التجربة بصرف النظر عن الذى يقوم بإجرائها.

الثاني: أن الطبيعة خاضعة لمبدأ السببية بمعنى أن العلاقات الارتباطية بين السبب والنتيجة تحدد ما يحدث نتيجة لظروف أو شروط ابتدائية معينة، وبدون هذين المبدأين ستكون الملاحظة العلمية عديمة الفائدة، لأن النتائج لن يمكن تعميمها للتنبؤ بالأنماط الأساسية للسلوك.

وتعتبر الفيزياء أكثر العلوم أساسية، فالفيزياء علم كمي هدفه وصف جميع الظواهر فى العالم الطبيعي بدلالة عدد قليل من العلاقات الأساسية بين خواص المادة القابلة للقياس والطاقة، وهذه العلاقات الأساسية تسمى قوانين الفيزياء وهى صيغ تتميز بدرجة عالية من العمومية كما أنها مشتقة من عدد هائل من الظواهر وتنطبق عليها، ولاستنباط القوانين الكمية يتحتم تعريف الخواص المتضمنة فيها بطريقة تسمح بقياسها، فهدف الفيزياء هو التعبير عن العلاقات الأساسية فى صورة رياضية، وهذا يمكن الفيزيائيين من استخدام القواعد

المنطقية لعلم الرياضيات لتطبيق القوانين على حالات محددة والحصول بالتالي على نتائج كمية.

العد والقياس:

أبسط طريقة للتقدير الكمي هى العد، وهذه الطريقة قابلة للتطبيق عندما نتعامل مع وحدات متميزة مستقلة مثل التفاح والبرتقال والأشخاص والذرات وخلافه، ومن حيث المبدأ يعتبر العد عملية مضبوطة (دقيقة) للتقدير الكمى لأننا نستخدم أعداداً صحيحة للتعبير عن الكمية، ومن الطبيعى أن تكون هناك حدود عملية للدقة عندما تواجهنا أعداد كبيرة من الأشياء مثل عدد السكان فى جمهورية مصر العربية أو عدد الذرات فى مادة ما، ففى مثل هذه الحالات يجب أن نرضى بمعرفة العدد فى حدود مقبولة من عدم اليقين ومع ذلك فإننا نعلم أنه يمكننا من ناحية المبدأ معرفة العدد بالضبط.



شكل(١) يلاحظ أن طول الكتاب لأقرب علامة على المسطرة هو٢٦سم ، لكن الطول الحقيقى يمكن أن يقع بين ٢٥,٥سم – ٢٦,٥سم ، وعليه فإن دقة القياس تقع فى مدى قدرة ١سم، ويبين حدى الدقة فى هذة الحالة بكتابة ٢٦± ٠,٥ سم.

الطريقة الأخرى للتقدير الكمي هي القياس وهو خلاف العد عملية غير مضبوطة (غير دقيقة) من حيث المبدأ فعندما نقوم بالقياس فإننا لا نستعمل الأعداد الصحيحة لتعيين الكمية ولكننا نستخدم العلامات الموجودة على المسطرة أو الترمومتر مثلاً أو دقات الساعة لقياس مقدار الطول أو درجة الحرارة أو الزمن، جميع هذه العلامات أو الدقات لها حد ذاتى أصيل من الدقة حتى ولو تحول القياس إلكترونياً إلى الصورة الرقمية، ويتعين حد الدقة بتصميم وتركيب جهاز القياس ومهما كان حرصنا أثناء القياس فإننا لن نحصل

أبداً على نتيجة أكثر دقة من حد جهاز القياس المستخدم وكتوجيه إرشادى عام يقال أن حد دقة جهاز قياس معين يساوى نصف أصغر قسم من أقسام القياس، وعندما تقوم أنت بإجراء قياس ما فإنك تقرأ الكمية المقاسة لأقرب علامة على الجهاز، وعندئذ سوف تقع القيمة الحقيقة لهذا القياس فى مدى قدره نصف أصغر قسم من أقسام الجهاز فوق أو تحت العلامة المبينة (حد دقة جهاز قياس =½± أصغر قسم من أقسام القياس يستطيع الجهاز قياسه).

بناء على ذلك فإن حد الدقة لمسطرة مدرجة بالمليمترات (mm) تساوى 0.5mm±، بينما القدمة ذات الورنية التى تعطى القيمة مباشرة لأقرب 0.1mm لها حد دقة تساوى 0.05mm± (أنظر الشكل ١)، كذلك فإن ساعة الإيقاف المدرج وجهها على فترات قدرها نصف الثانية (0.5 s) لها حد دقة قدرها 0.5 s± وساعة الإيقاف الرقمية التى تقرأ الزمن لأقرب 0.1 s لها دقة قدرها 0.05 s± .

النوع الآخر من عدم اليقين فى القياس مرتبط بالتصميم غير الصحيح أو المعايرة غير الصحيحة للجهاز، كما أنه قد ينشأ عن القراءة غير الصحيحة للنتيجة، وتسمى مثل هذه الأخطاء بالأخطاء الرتيبة وهى تؤدى إلى أن يكون القياس أكبر أو أصغر من القيمة الحقيقية بمقدار ثابت ويوصف القياس حينئذ بأن غير دقيق.



شكل (٢) تستخدم أجهزة عديدة لقياس الكميات الفيزيائية المختلفة مثل الطول والزمن ودرجة الحرارة، وبعض هذه الأجهزة تناظرية والبعض الأخر رقمية ولكن لها جميعا حدوداً معينة من الدقة.

مما سبق فإن الدقة هى مدى إختلاف القيمة المقاسة عن القيمة الحقيقية بسبب الأخطاء الرتيبة، ويلاحظ هنا أن العناية الشديدة بتصميم الجهاز ومعايرته والحرص الكبير عند القراءة يمكن أن يقلل تلك الأخطاء إلى مستوى من عدم الدقة أصغر من حد دقة الجهاز.

وأخيراً فإن القياسات المتعددة لنفس الكمية بإستخدام نفس الجهاز تختلف فيما بينها عادة بمقادير أكبر من دقة الجهاز مثل هذه الأخطاء تسمى الأخطاء العشوائية أو الأخطاء الإحصائية وهى أخطاء تسببها تغيرات الخاصية الفيزيائية المقاسة نفسها كالتغيرات فى درجة الحرارة والجهد الكهربى وضغط الغاز وخلافه والأخطاء الإحصائية لا يمكن التخلص منها تماماً ولكن يمكن تقليها بزيادة عدد القياسات وكما يمكن حساب تأثيرها على دقة الكمية المقاسة بالتحليل الإحصائى.

الأبعاد والوحدات المستخدمة فى القياس:

عند قياس كمية فيزيائية ما علينا أن نحدد نوع الخاصية الفيزيائية التى نقم بقياسها، هل نريد تعيين طول حمام السباحة مثلاً أم نريد تعيين الزمن اللازم لسباحته مرة واحدة، هناك سبعة أنواع أساسية فقط من الخواص الفيزيائية اللازمة لوصف جميع القياسات الفيزيائية لهذه الخواص وتسمى الأبعاد وهى الطول، الكتلة، الزمن، درجة الحرارة، التيار الكهربي، عدد الجسيمات والشدة الضوئية. أما الكميات الفيزيائية الأخرى التى نتعامل معها كالقوة والطاقة وكمية التحرك فيمكن اشتقاقها من هذه الأبعاد الأساسية السبعة.

من الضرورى تعريف كمية معيارية لكل من الأبعاد الفيزيائية الأساسية، هذه التعريفات أختيارية ولكن كلا منها مبنى على أساس قياس فيزيائى ذى دقة عالية وهناك اتفاقية دولية بشأن تعريف كل من الكميات المعيارية السبع وكذلك مواصفات وتصميمات التجارب المستخدمة لقياسها.

بعد تحديد نوع الخاصية المراد قياسها ستكون مهمتنا الثانية أن نختار نظاماً لوحدات القياس للتعبير عن الكمية التى نقوم بقياسها وقد استخدمت عدة أنظمة للوحدات فى أوقات وأماكن مختلفة للتعبير عن الكميات المقاسة بالأبعاد السبعة الأساسية، ولكن يستخدم فى العالم الآن نظامان أساسيان فقط من أنظمة القياس: أولهما هو النظام المستخدم فى المجال العلمي وهو النظام الدولي للوحدات (IS)، أما النظام الثانى وهو الشائع فى الولايات المتحدة فهو النظام الأنجليزي.

نظم الوحدات القياسية: Systems of units

كما سبق أن وضحنا أن هناك قدراً من الحرية في اختيار الكميات الأساسية فيمكن بناء على ذلك أن نختار الطول والزمن والكتلة على أنها كميات أساسية أما باقى الكميات كالسرعة والقوة والعمق والإرتفاع فتختار على أنها كميات مشتقة والتى يعبر عنها بدلالة الكميات الأساسية. ويمكن أن نعبر عن القوة

ككمية أساسية بدلالة كل من الكتلة والعجلة، كما أن هناك كميات أساسية أخرى مثل درجة الحرارة والأمبير وغيرها ويوجد عدة نظم للكميات القياسية منها:

١-النظام الفرنسى المطلق أونظام جاوس: Gaws system

وهو النظام الذى تعتبر وحداته الأساسية هى الجرام، السنتيمتر والثانية فى تحديد الأبعاد وتعرف هذه الوحدات (g, cm ,s) بالوحدات القياسية المطلقة.

٢- النظام البريطانى : FPS system

حيث وحداته الأساسية هى القدم والباوند والثانية (FPS) وهذه الوحدات لا تستخدم كثيراً في المجالات العلمية وذلك لأن أجزاءه تحتوى على كثير من الكسور الاعتيادية.

٣-النظام الدولي للوحدات International system (SI)

من المهم وضع نظام للتعبير عن الوحدات التى تقاس بها قيم الخواص المتحصل عليها من النتائج التجريبية، هذه القيم يمكن التعبير عنها بوحدات مختلفة، ومنذ منتصف القرن التاسع عشر فإن النظام المترى metric system للقياسات (النظام الفرنسى) والذى يطلق عليه أحياناً decimal system للأوزان والمقاييس أخذ فى النمو والانتشار حتى أصبح الآن النظام المعمول به فى معظم الدول وفى هذا النظام فإن النسبة بين الوحدات المختلفة لمقدار ما تساوى قيمة عشرة مرفوعـة إلى أس صحيـح، ولقد أطلـق على هذا النظـام الفرنسى اصطلاح Cgs-system (Centimeter–gramme–second)

وفى أكتوبر ١٩٦٠ قدم المؤتمر العام للأوزان والمقاييس نظاماً جديداً للوحدات هو فى واقع الحال مشتق من الـ Cgs – system بضرب الوحدات فى عشرة مرفوعة إلى أس صحيح واتفق على أن يكون هذا النظام دوليا وسمى بالنظام الدولى للوحدات SI. system والوحدات الأساسية فى النظام الدولى هى :

المتر–الكيلو جرام– الثانية– الأمبير–الكلفن– الكاندلا– والمول وهو نظام يتبع فى جميع بلاد العالم وتعرف هذه الوحدات كما يلى:

١ - المتر The meter (m) :

هو وحدة الأطوال ويساوى طول النموذج الدولى الأصلى للمتر والمحتفظ به فى الحجرة الدولية للأوزان والمقاييس والمصنوع من سبيكة تقاوم تغير طولها بتغير درجة الحرارة.

ويمكن تعريفه على أنه طول المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ أثناء الفترة الزمنية١/ ٢٩٩٧٤٢٤٥٨ جزء من الثانية.

٢ - الكيلو جرام The Kilogramme (Kg) :

هو وحدة الكتل ويساوى كتلة النموذج الأصلى الدولى للكيلو جرام والمحتفظ به فى الحجرة الدولية للأوزان والمقاييس. وهو النموذج المعياري الذي يستخدم لمعايرة الكيلوجرام

ويمكن تعريفه على أنه كتلة اسطوانية مصمتة قطرها ٣٩ ملليمتر وارتفاعها ٣٩ ملليمتر وتتكون من ٩٠% من البلاتين و ١٠% من الاريديوم ومحفوظة عند درجة صفر مئوي موجودة في باريس والولايات المتحدة الأمريكية.

٣ - الثانية The second (sec) :

تم تعريف الثانية في النظام الدولي للوحدات عن طريق الهيئة الدولية للأوزان والقياسات – CIPM منذ عام ١٩٦٧ ومع ظهور الساعات الذرية على أنها : فترة ٩١٩٢٦٣١٧٧٠ دورة لأشعة تصدر من انتقال الإلكترون بين مستويين معينين لمستوى الطاقة القاعدي لذرة السيزيوم- ١٣٣

٤ - الأمبير The Ampere (A) :

تخليداً لذكرى العالم الفيزيائي الفرنسي أندري ماري أمبير

ويعرف على أنه شدة التيار الناتج عن مرور شحنة كهربية مقدارها ١ كولوم خلال موصل في زمن قدره ١ ثانية.

أو هو شدة التيار الكهربي المار في سلكين متوازيين في الفراغ مفصولان عن بعضهما البعض مسافة ١ متر وتبلغ قوة التجاذب أو التنافر بينهما قوة قدرها ٢ × ١٠^{-٧} نيوتن لكل متر من طول السلكين.

٥ - الكلفن The Kelvin (K)

هو وحدة قياس درجة الحرارة والتي تعتبر مؤشراً على كمية الطاقة الحرارية التي يختزنها الجسم، ويستخدم الكلفن في القياسات العملية لأنه مقياس لدرجة نشاط الجزيئات في المادة حيث أنه عند درجة صفر كلفن (الصفر المطلق) تتوقف حركة الجزيئات تماماً.

٦ - الشمعة أو الكاندلا The candela (cd)

هى وحدة الإشعاع وتساوى شدة الإشعاع – فى الاتجاه العمودى لسطح مساحته ١/٦٠٠٠٠٠م^{٢} لجسم أسود تماماً عند درجة حرارة تصلب البلاتين (١٧٧٣^{o}م) تحت ضغط ١٠١٣٢٥ نيوتن لكل متر مربع.

٧ - المول أو الجزئ جرام The mole

ويعرف على أنه الكتلة الذرية أو الجزيئية للمادة معبراً عنها بالجرام

أو هو كمية المادة التى تحتوى على نفس عدد الجسيمات التي يحتويها ١٢ جرام من الكربون، وهذه الجسيمات قد تكون ذرات أو جزيئات أو أيونات أو إلكترونات منفردة.

ويبين الجدول التالي الوحدات السبعة الأساسية فى النظام الدولى للقيم الطبيعية المختلفة والاصطلاح الرمزي لها.

جدول (١) القيم الطبيعية ووحداتها فى النظام الدولى

Physical Quantity	Symbol for Quantity	Name of SI Unit	Symbol for SI unit
Length	1	Meter	M
Mass	M	Kilogram	Kg
Time	t	Second	s
Electric current	I	Ampere	A
Thermodynamic temperature	T	Kelvin	K
Luminous intensity	IV	Candela	cd
Amount of substance	N	Mole	mol

كما يبين الجدول التالي الأسماء الخاصة والرموز للوحدات المشتقة، وتشتق جميع الكميات الطبيعية الأخرى من الوحدات الأساسية السبعة السابقة، وتتبع وحدات الكميات الطبيعية المشتقة وحدات الكميات الأساسية وتعد هذه واحد من أهم مزايا النظام الدولى للوحدات SI system بعض الوحدات المشتقة لها أسماء خاصة فعلى سبيل المثال وحدة الطاقة هى الـ Joule وهى (N x m) أما البعض الأخر مثل وحدات الكثافة والسرعة ليس لها أسماء خاصة.

جدول (٢) أسماء ورموز بعض الوحدات المشتقة

Physical Quantity	Name of unit	Symbol of unit	Definition of unit
Energy	Joule	J	Kgm^2s^{-2}
Force	Newton	N	$Kgms^{-2} = Jm^{-1}$
Power	Watt	W	$Kgm^2s^{-3} = Js^{-1}$
Electric charge	Coulomb	C	As
Electric potential difference	Volt	V	$Kgm^2 s^{-3}A^{-2} = JA^{-1}s^{-1}$
Electric Resistance	Ohm	S	$Kgm^2s^{-3}A^{-2} = VA^{-1}$
Electric Capacitance	Farad	F	$A^2s^4Kg^{-1}m^{-2} = ASV^{-1}$
Frequency	Hertz	Hz	s^{-1}
Customary Temperature	Degree Celsius	^oC	$t^oC = TK – 273.15$
Area	Square Meter	m2	
Volume	Cubic Meter	m^3	
Density	Kilogram per	Kgm^{-3}	

	cubic meter		
Velocity	Meter	ms^{-2}	

كما توجد هناك وحدات كثيرة معروفة مخالفة للنظام الدولى، من أكثرها شهرة بالنسبة للكيمياء هى اللتر، الأنجستروم، الإرج، الكالورى، الداين، الضغط الجوي، ويجب تحويل هذه الوحدات إلى مثيلاتها فى النظام الدولي، ويوضح الجدول التالى أمثلة لتلك الوحدات.

جدول (٣) أمثلة للوحدات المخالفة للنظام الدولى

Physical Quantity	Name of unit	Symbol of Unit	Definition of unit
Length	Angstrom	A	10^{-10} m = 10^{-3}nm
Length	Micron	Mm	10^{-6} m
Volume	Litre	L	10^{-3} m^3 = dm^3
Force	Dyne	dyn	10^{-5} N
Pressure	Atmosphere	atm	101325Nm^{-2}
Pressure	Millimeter of mercury	mmHg	13.5951x980.66sx$10^{-2}$$Nm^{-2}$
Pressure	Pascal	pa	Nm^{-2}
Energy	Caloric	Cal	4.184J
Energy	Erg	erg	10^{-7}J
Conductance	Siemens	s	Ω^{-1}

تحليل الأبعاد القياسية Dimension Analysis

إن أية قيمة من القيم يمكن تحليلها فى ثلاثة أبعاد رئيسية فلكل القيم يمكن أن يكون هناك بعداً طولياً length (L) وبعداً كتلياً Mass (M) وبعداً زمنياً Time (T) وهناك قيما غير موجهة non dimensional values مثل هذه القيم عند تحليلها فإنها تأخذ العلامات البعدية التالية $L^oM^oT^o$.

وعندما نتحدث عن قيمة البعد الطولى لحدث ما فإن هذا الحدث كالمسافة التى يقطعها جسم ما يرمز لها بالرمز L وكتلة هذا الجسم M بينما زمن بقاء هذا الجسم أو الحدث فيشار إليه بالرمز T .

وهكذا فإن السرعة يمكن تحليلها فى أتجاهى المسافة المقطوعة وفى وحدة الزمن أى LT^{-1}

والحجم كما نعرف هو مكعب البعد الطولى فهو لذلك L^3 وعلى هذا فإن الكثافة يمكن تحليلها على اعتبار أنها كتلة وحدة الحجوم أى أنها ML^{-3} أو التزاما بالترتيب العام (LMT) فتكون : L^{-3} $M.T^o$

والقوة هى عامل شد وحدته هى القيمة التى إذا أثرت على جسم كتلته الوحدة أكسبته عجلة مقدارها الوحدة وإذا علمنا أن العجلة هى معدل تغير السرعة فى كل وحدة من الزمن فإن العجلة يمكن تحليلها إلى :

$$L.T^{-1}T^{-1} \quad = \quad LT^{-2}$$

وهذا يمكن تحليل القوة كما يلى: MLT^{-2} أو L^2MT^{-2}

والطاقة بصفة عامة هى قيمة الشغل الناتج من تأثير قوة مقدارها الوحدة لمسافة قدرها الوحدة، وعلى ذلك فإن أبعاد الطاقة هى حاصل ضرب أبعاد القوة فى البعد المسافى أى أنها: ML^2T^{-2} أو L^2MT^{-2}

والضغط بدوره هو مقدار القوة التى تؤثر على وحدة المساحات وعلى ذلك فأبعاد الضغط هى بالضبط خارج قسمة أبعاد القوة على المساحة أى:

$$P = \frac{LMT^{-2}}{L^2}$$
$$= L^{-1}MT^{2}$$

وكما سبق لنا القول فإن البعد الطولى والكتلى والزمنى يعبر عنها بوحدات يمكن توضيحها للأنظمة المختلفة للمقاييس كما فى الجدول التالى :

النظام	المسافة	L	الكتلة	M	الزمن	T
	الوحدة	الرمز	الوحدة	الرمز	الوحدة	الرمز
الفرنسى	سنتيمتر	Cm	جرام	gm	ثانية	Sec
الإنجليزى	قدم	Foot	رطل	Pound	ثانية	Sec
الدولى	متر	M	كيلو جرام	kg	ثانية	Sec

وفيما يلى يمكن أن نعيد تحليل بعض القيم وفقاً للمقاييس الفرنسية على سبيل المثال :

السرعة	$LT^{-1} = cm\ Sec^{-1}$	القوة	$LMT^{-2} = cm.gm.Sec^{-2}$
الكثافة	$L^{-3}M = cm^{-3}\ gm$	الضغط	$L^{-1}MT^{-2}=cm^{-1}gm.Sec^{-2}$
الحجم النوعى	$L^3M^{-1} = cm^{-3}\ gm^{-1}$	الطاقة	$L^2.M.T^{-2}=cm^2gm.Sec^{-2}$

ويعرف تحليل الأبعاد بأنه اختبار المعادلات من حيث احتوائها على الأبعاد dimensions

قواعد تحليل الأبعاد :

١- عند جمع أو طرح عدداً من الحدود فى معادلة ما يجب أن تكون أبعادها متماثلة.

٢- عند ضرب أو قسمة أو رفع عدداً من حدود معادلة ما إلى قوة معينة فإنه يجب معاملة أبعادها بنفس الطريقة.

٣- اللوغاريتمات والأسس ليس لها أبعاد.

٤ - تفاضل dx له نفس أبعاد x .

وسنتناول الآن بعض الأمثلة عن تحليل الأبعاد القياسية وكيفية استخدامه للتحقق من صحة بعض العلاقات الرياضية بين المتغيرات المختلفة وأيضا لاستنباط القيم البعدية التى يشار بها إلى عامل ما من العوامل يشترك فى علاقة معينة.

مثال١: أوجد أبعاد R فى المعادلة التالية : $R = \frac{PV}{nT}$

حيث p تمثل الضغط (قوة لكل وحدة مساحة) وأبعاده $(MlT^{-2})\ x\ (L^{2})^{-1}$ ، V تمثل الحجم وأبعاده (L^{3}) ، n كمية المادة وأبعادها (n) T درجة الحرارة وأبعادها (K) .

الحل : وعلى ذلك فإن أبعاد R تكون كما يلى :

$$\frac{(MLT^{-2})(L^{2})^{-1}(L^{3})}{(n)(K)}, i, e, (ML^{2}T^{-2}n^{-1}K^{-1})$$

فى هذه الحالة $ML^{2}T^{-2}$ تمثل أبعاد الطاقة energy .

وعلى ذلك فإن R لها أبعاد $(n^{-1}T^{-1}\ \ (energy))$ وبالنسبة لوحدات النظام الدولي.

$$[Nm^{-2}][m^{3}][mol^{-1}][K^{-1}] = [Nm\ mol^{-1}k^{-1}] = [J\ mol^{-1}\ k^{-1}]$$

مثال ٢ :

تشير النظرية الحركية الجزيئية للغازات إلى العلاقة التالية رياضياً :

$$PV = \frac{1}{3}\ Nmv^{2}$$

تحقق من ذلك مستخدماً طريقة التحليل للأبعاد القياسية.

الحل : P فى العلاقة السابقة تمثل الضغط وكما نعرف فهو القوة التى تخص وحدة المساحات وأبعاده هى $LMT^{-2}.L^{-2}$ أو $L^{-1}MT^{-2}$ وهى على القياس الفرنسى $cm^{-1}gm\ Sec^{-2}$.

والحجم أبعاده L^3 وعلى المقياس الفرنسى cm^3 وعلى ذلك فبتحليل الجانب الأيسر من العلاقة الرياضية السابقة نصل إلى أنه يؤول إلى:

$$cm^{-1}gm\ Sec^{-2} \times cm^3 = cm^2gm.\ Sec^{-2} \qquad (1)$$

وعلى الجانب الأيمن فإن N تعنى عدد الجزيئات molecules و m كتلة الجزئ $gm \quad molecule^{-1}$ بينما v^2 هى مربع سرعة هذه الجزيئات أى cm^2Sec^{-2} وعلى ذلك فإن الجانب الأيمن يصبح molecule x gm. $molecule^{-1}x\ cm^2\ Sec^{-2}$.

أى تساوى: $(2) \qquad = gm.cm^2\ Sec^{-2}$

وهكذا يتضح من (١) ، (٢) تماثل جانبى العلاقة الرياضية من ناحية تحليل الأبعاد القياسية.

<u>مثـال ٣:</u>

بالرجوع إلى المثال رقم (١) مستخدما القانون العام للغازات وقانون آفوجادرو بين كيف يمكنك استنباط القيم التى يمكن بها التعبير عما يعرف بثابت الغازات العام مع تعريف هذا الثابت.

<u>الحـل</u>: تشير خصائص الغازات المثالية إلى صحة العلاقة

$$Pv = nRT$$

وعلى ذلك فإن

$$R = \frac{Pv}{nT}$$

حيث R هى الثابت العام للغازات و P هى الضغط و v الحجم و n عدد الجزيئات الجرامية و T درجة الحرارة المطلقة .

كما أمكن بواسطة آفوجادرو التحقق من أى جزئ جرامى واحد من أى غاز مثالى يشغل حجماً قدره ٢٢.٤١٤ لتراً عندما يقع تحت ضغط قدره ضغط جوى واحد وعند درجة حرارة صفر مئوى أو ٢٧٣.١٦ درجة مطلقة.

$$\therefore R = \frac{1atm \times 22.414}{1mole \times 273.16\,degree}$$

ولكن الضغط الجوى المعتاد يكافئ الضغط الناشئ عن عمود من الزئبق ارتفاعه ٧٦سم ونظراً لأن كثافة الزئبق ١٣.٥٩٦جم.سم$^{-٣}$ وعجلة الجاذبية الأرضية هى ٩٨٠.٧سم.ثانية$^{-٢}$ فإن :

$$1atm = 76cm \times 13.596g.cm^{-3} \times 1cm^2 \times 980.7cm\ sec^{-2} \times cm^{-2} = 1.013 \times 10^6\ cm\ g\ sec^{-2}\ cm^{-2}$$

والداين هو وحدة القوة فى المقياس الفرنسى أى أن

$$dyne = cm\ g\ sec^{-2}$$

وعلى ذلك:

$$P = 1atm = 1.013 \times 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$$

$$R = \frac{1.013 \times 10^6 \text{ dyne cm}^{-2} \times 22.414 \text{ cm}^3}{1 \text{ mole} \times 273.16 \text{ degree}}$$

$$= 8.314 \times 10^7 \text{ dyne cm mole}^{-1} \text{ degree}^{-1}$$

ونظراً لأن ضرب القوة (داين) فى المسافة (cm) ينتج طاقة (erg)

$$\therefore R = 8.314 \times 10^7 \text{ erg. Mole}^{-1} \text{ degree}^{-1}$$

وتعتبر قيمة الأرج كوحدة من وحدات الطاقة صغيرة جداً لذلك اقترح وضع وحدة أخرى تعرف بالجول Joule وهى تساوى ١٠^٧ أرج .

$$\text{Joule} = 10^7 \text{ erg}$$

$$\therefore R = 8.314 \text{ Joules. mole}^{-1} \text{ degree}^{-1}$$

وتستخدم وحدة أخرى من وحدات الطاقة هى السعر calorie وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة (من ١٤ إلى ١٥ درجة مئوية) ومن الثابت الآن أن:

$$1 \text{ calorie} = 4.184 \text{ Joules}$$

وعلى ذلك فإن قيمة الثابت العام للغازات يمكن الإشارة إليها كما يلى:

$$R = 1.987 \text{ cal. mole}^{-1} \text{ degree}^{-1}$$

ولكن نستطيع وضع تعريف لهذا الثابت العام للغازات دعنا نفترض أن لدينا جزئ جرامى واحد من غاز مثالى عند درجة حرارة T المطلقة وبتطبيق القانون العام للغازات .

$$Pv_1 = nRT$$

أو

$$Pv_1 = RT \qquad (1)$$

حيث P هى ضغط الغاز و v_1 هو حجمه عند درجة الحرارة هذه، فإذا رفعنا درجة حرارة هذا الغاز درجة واحدة وسمحنا له بالتمدد وليبقى الضغط ثابتاً عند نفس القيمة P فإن الحجم سيتغير إلى v_2 وبتطبيق القانون العام للغازات.

$$Pv_2 = R\,(T + 1) \qquad (2)$$

وبطرح ١ من ٢

$$P\,(v_2 - v_1) = R$$

أى أن

$$R = P\Delta V \qquad (3)$$

حيث ΔV هى التغير فى الحجم نتيجة لتمدد الغاز بتأثير رفع درجة حرارته درجة واحدة، وفى المعادلة (٣) نعلم أن الضغط

$$\mathbf{P = force.\ Area^{-2}} = force.\ L^{-2}$$

$$\&\ V = L^{3}$$

$$P\Delta V = Force\ L \qquad = energy$$

أى أن قيمة $P\Delta V$ هى قيمة طاقة وعلى هذا يمكن تعريف الثابت العام للغازات على أنه مقدار الشغل المبذول أثناء تمدد جزئ جرامى من غاز مثالى عند رفع درجة حرارته درجة واحدة عند ضغط ثابت.

الوحدة الثانية: الحركة والقوى

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- مفهوم الحركة وأنواعها
- مفهوم المسافة والازاحة.
- مفهوم السرعة وأنواعها
- مفهوم العجلة وأنواعها.
- معادلات الحركة.
- قوانين الحركة أو قوانين نيوتن
- مفهوم القوة
- مفهوم الكتلة والوزن
- الحركة الدائرية المنتظمة
- بعض تطبيقات الحركة الدائرية في المجال الزراعي
- مفهوم الشغل، الطاقة والقدرة

الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- فهم الحركة وأنواعها
- المقارنة بين المسافة والازاحة.
- فهم السرعة وأنواعها
- فهم العجلة وأنواعها.
- استنباط معادلات الحركة.
- فهم قوانين الحركة أو قوانين نيوتن
- فهم مصطلحات القوة، الكتلة والوزن
- فهم الحركة الدائرية المنتظمة
- معرفة بعض تطبيقات الحركة الدائرية في المجال الزراعي
- فهم مصطلحات الشغل، الطاقة والقدرة

مقدمة في الديناميكا (الحركة) Dynamics

تختص الديناميكا بدراسة حركة الأجسام وعلاقة هذه الحركة بالمفاهيم الفيزيائية مثل القوة Force والكتلة Mass وعلى ذلك فإنه من الأسهل وصف الحركة Motion بتطبيق مفاهيم المكان والزمان بصرف النظر عن سبب الحركة.

مفهوم الحركة Motion

الحركة هي إحدى الخصائص الميكانيكية للجسم، ولها أهمية كبيرة في علم الفيزياء، حيث وضع العلماء العديد من القوانين التي تفسر الحركة وأسباب تغير حركة الأجسام، وتعرف الحركة في علم الفيزياء بأنها التغير الحادث في موقع الجسم أو اتجاهه أثناء زمن محدد، أو هي تغير موضع جسم بالنسبة لموضع جسم آخر ثابت مع مرور الزمن. ويوصف الجسم الذي يظل في موضعه بمرور الزمن بأنه في حالة سكون.

أنواع الحركة

يمكن تصنيف الحركة إلى ثلاثة أنواع وهي كالتالي:

١- الحركة الانتقالية:

حيث ينتقل الجسم من نقطة لأخرى، وقد تكون هذه الحركة على طول خط مستقيم وتسمى بالحركة الخطية أو المستقيمة أو على طول مسار منحني وتسمى بالحركة المنحنية. ولدراسة الحركة الانتقالية يستخدم عدد من القوانين والمعادلات التي تعتمد بشكل رئيس على قوانين نيوتن في الحركة، ومن أمثلة القوى التي يمكن أن تؤثر في الأجسام قوتي الجاذبية والاحتكاك، وتستخدم مبادئ الحركة الانتقالية في توضيح حرارة المادة عن طريق حركة الجزيئات فيها.

٢- الحركة الدورانية:

وهي دوران الجسم حول مركزه أو محوره، وهي الحركة التي تغير من اتجاه الجسم حيث تدور الأجسام على شكل دوائر متحدة المركز حول محور الحركة. وتعتمد على عزم القوة، والتي هي عبارة عن مقدار القوة اللازمة للتأثير على الجسم ليتمكن من الدوران حول محوره أو مركزه، ويمكن التعبير عن ذلك باستخدام العلاقة التالية:

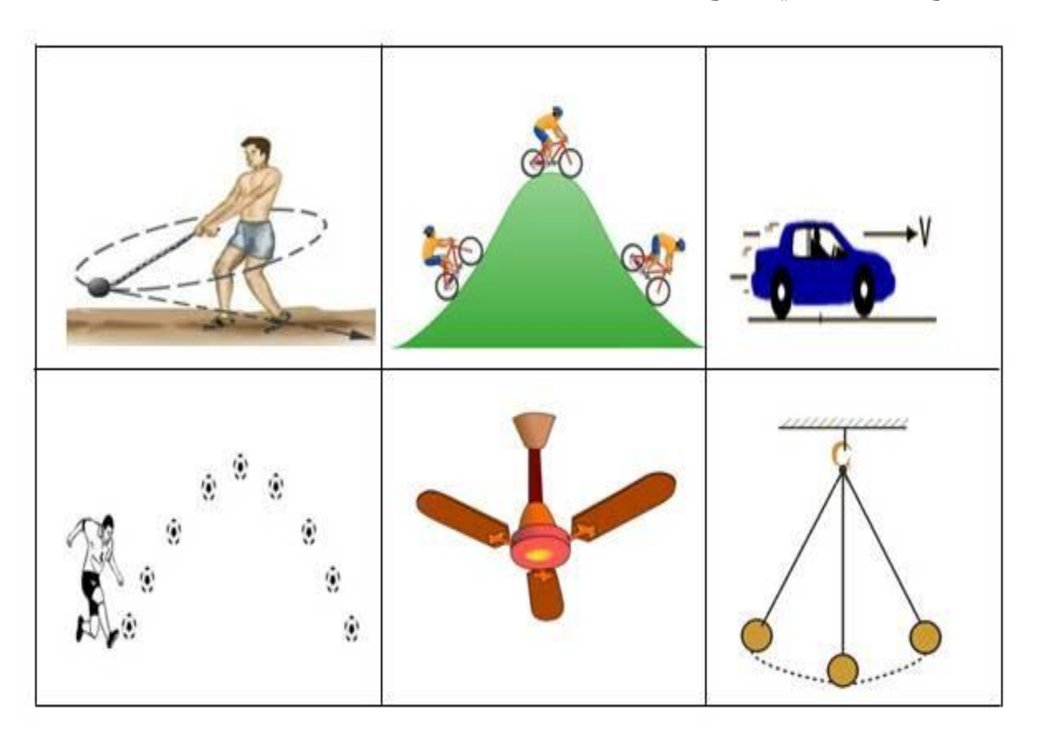
العزم= القوة × المسافة ×جاهـ

حيث: المسافة هي المسافة بين المحور الذي يدور حوله الجسم والنقطة التي تعرضت للقوة، أما الزاوية هـ: فهي الزاوية بين القوة والمسافة، وبهذا تكتسب الأجسام التي تدور حول محورها طاقة حركية.

٣- الحركة الاهتزازية:

وتسمى الحركة التذبذبية أو الحركة التوافقية البسيطة وهي تنشأ عن تغيير متكرر للحركة مع الزمن حيث تتحرك الأجسام في حركة مستمرة إلى الخلف وإلى الأمام، أو من جانب لآخر حول نقطة ثابتة. أي أن هذه الحركة تعيد تكرار نفسها خلال فترة من الزمن، ومن أشهر الأمثلة على هذه الحركة حركة بندول الساعة الذي يتحرك إلى اليمين ثم اليسار حول نقطة تقع وسط البندول تسمى نقطة الاتزان في زمن معين، ثم تعيد الحركة إلى اليمين ثم اليسار في المدة الزمنية نفسها، وهكذا.

ويوضح الشكل التالي أنواع الحركة المختلفة السابق ذكرها.



وفيما يلي سنوضح بعض المصطلحات والتعريفات المتعلقة بالحركة:

المسافة والازاحة:

في هذا الصدد يجب أن نفرق بين كميتين فيزيائيتين قد يبدو لنا من الوهلة الأولى أنهما متشابهتان إلا أنهما يختلفان في مفهومهما اختلافاً كبيراً وهما: المسافة والازاحة.

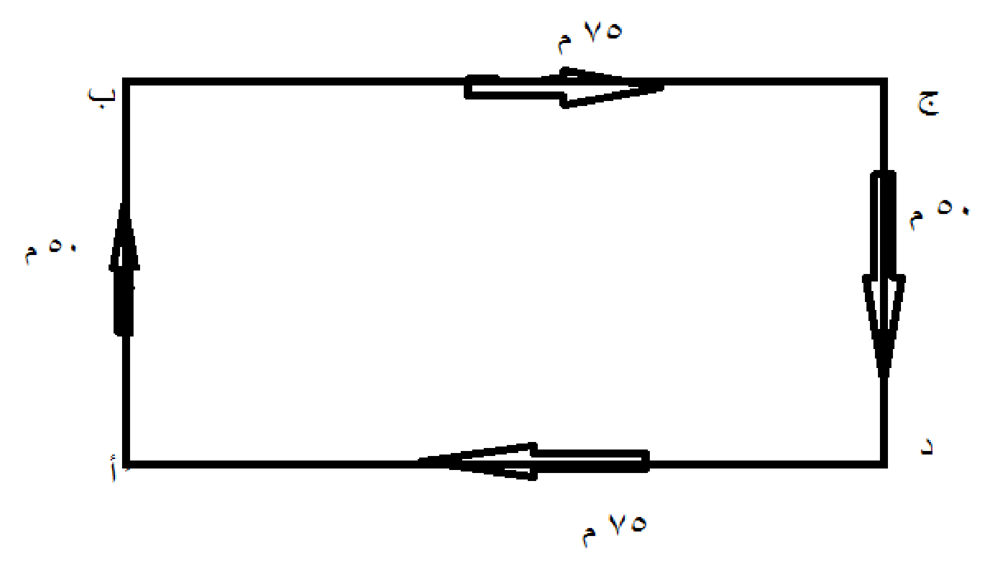
١- المسافة distance

ويمكن تعريفها على أنها طول المسار الفعلي الذي يسلكه الجسم المتحرك من موضع بداية الحركة إلى موضع نهاية الحركة. وهى كمية فيزيائية قياسية حيث أنه يكفي لتحديدها معرفة مقدارها فقط فمثلاً عندما نقول أن جراراً زراعياً تحرك مسافة ١٠٠ متر لا يعنينا أن نحدد اتجاه ذلك الجرار.

٢- الازاحة displacement

ويمكن تعريفها على أنها المسافة المقطوعة في اتجاه ثابت واحد من موضع بداية الحركة نحو الموضع النهائي للحركة ويمكن تعريف مقدار الازاحة على أنها أقصر خط مستقيم بين موضعي بداية ونهاية الحركة. والازاحة كمية فيزيائية متجهة حيث يلزم لتحديدها معرفة مقدارها واتجاهها فمثلاً في المثال السابق لابد أن نحدد اتجاه الجرار الزراعي شرقاً أو غرباً وهكذا.

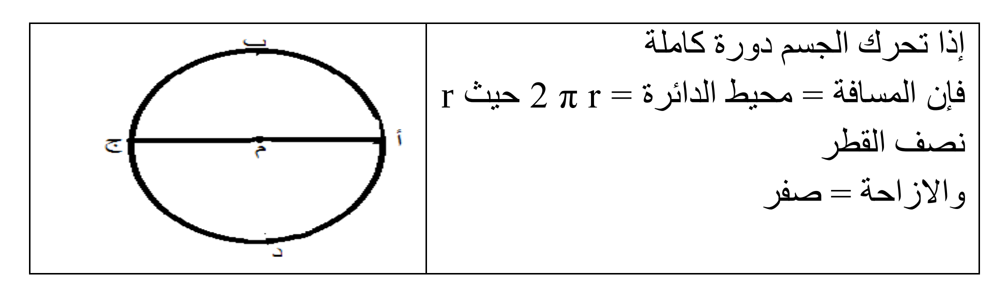
ويمكن توضيح الفرق بين المفهومين بالمثال التالي:



إذا تحرك الجرار من بداية الحقل من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) ثم إلى النقطة (ج) ثم إلى النقطة (د) كما هو موضح بالشكل نجد أن الجرار قد قطع مسافة ٢٥٠ م أما الازاحة فتختلف حسب كل حالة كما يأتي:

- يحدث تطابق وتساوى لمقدار الازاحة مع المسافة إذا كانت حركة الجرار في اتجاه واحد في خط مستقيم وذلك يكون في الحركة من (أ) إلى (ب) فتكون قيمة الازاحة ٥٠ شمالاً.
- يقل مقدار الازاحة عن المسافة المقطوعة ويحدث ذلك إذا تحرك الجرار في مسار منحني أو أي مسار لا يمثل خط مستقيم كما في الحركة من (أ) إلى (ب) إلى (ج) أو من (أ) إلى (ب) إلى (ج) إلى (د) فيساوى أج في اتجاه الشمال الغربي في الحالة الأولى ، ويساوي أد في اتجاه الغرب في الحالة الثانية.
- الازاحة تساوي صفر ويحدث ذلك عندما يعود الجسم المتحرك إلى نقطة بداية الحركة.

ويمكن حساب المسافة والازاحة لحركة جسم يتحرك في مسار دائري كما يلي:



إذا تحرك الجسم دورة كاملة
فإن المسافة = محيط الدائرة = $2 \pi r$ حيث r نصف القطر
والازاحة = صفر

إذا تحرك الجسم ¾ دورة فإن المسافة = ¾ محيط الدائرة والازاحة = أد في اتجاه الجنوب الغربي	
إذا تحرك الجسم ½ دورة فإن المسافة = ½ محيط الدائرة والازاحة = قطر الدائرة = $2r$ في اتجاه الغرب.	
إذا تحرك الجسم ¼ دورة فإن المسافة = ¼ محيط الدائرة والازاحة = أب في اتجاه الشمال الغربي.	

٣- السرعة

لوصف حركة الأجسام لا بد من تقديرها بصورة كمية ويتم ذلك من خلال مفهوم السرعة وهي عبارة عن الازاحة التي يقطعها الجسم في الثانية الواحدة، أو هي المعدل الزمني للتغير في الازاحة وتقاس بوحدة (m/s) أو (km/s).

أنواع السرعة

السرعة القياسية أو العددية Speed والسرعة المتجهة Velocity

السرعة القياسية Speed هي كمية فيزيائية قياسية تعرف على أنها معدل التغير في المسافة المقطوعة مع الزمن. فهذا النوع يكفي فقط معرفة مقداره فقط ولا يهمنا تحديد اتجاه حركته، ودائماً ما تكون الاشارة لها موجبة.

السرعة المتجهة Velocity هي كمية فيزيائية متجهة تعرف على أنها معدل التغير في الازاحة مع الزمن. ولابد هنا من تحديد المقدار والاتجاه، وتكون الاشارة موجبة إذا تحرك الجسم في اتجاه معين وسالبة إذا تحرك في عكس هذا الاتجاه.

السرعة المنتظمة Uniform velocity والسرعة المتغيرة Variable velocity

السرعة المنتظمة

هي السرعة التي يقطع فيها الجسم ازاحات متساوية في أزمنة متساوية ويكون الجسم متحركاً بمقدار ثابت وفي خط مستقيم

السرعة المتغيرة

هي السرعة التي يقطع فيها الجسم ازاحات غير متساوية في أزمنة متساوية وتكون السرعة متغيرة في المقدار والاتجاه

السرعة اللحظية و المتوسطة Instantaneous and Average velocity

السرعة اللحظية Instantaneous velocity

هي سرعة الجسم عند لحظة معينة فمثلاً عند قيادة السيارة والنظر مباشرة إلى عداد السرعة تكون هى السرعة اللحظية.

السرعة المتوسطة Average velocity

هي الازاحة من نقطة بداية الحركة إلى نقطة النهاية مقسومة على الزمن الكلي

٤- العجلة Acceleration

هي كمية فيزيائية متجهة تعرف على أنها التغير في سرعة الجسم خلال وحدة الزمن، أي أنها المعدل الزمني للتغير في السرعة المتجهة، وتقاس بوحدة (m/s^2) أو (km/s^2).

أنواع العجلة

عجلة موجبة: وهي العجلة التي تزداد فيها سرعة الجسم المتحرك بمرور الزمن

عجلة سالبة: وهي العجلة التي تتناقص فيها سرعة الجسم المتحرك بمرور الزمن

عجلة صفرية: وهي العجلة التي لا تتغير فيها سرعة الجسم المتحرك بمرور الزمن

معادلات الحركة منتظمة العجلة

عندما تختلف عجلة أي جسم متحرك مع الزمن فإن الحركة تصبح معقدة ويصعب تحليلها ولكن الشائع والبسيط هو الحركة المستقيمة عند عجلة منتظمة حيث تزداد

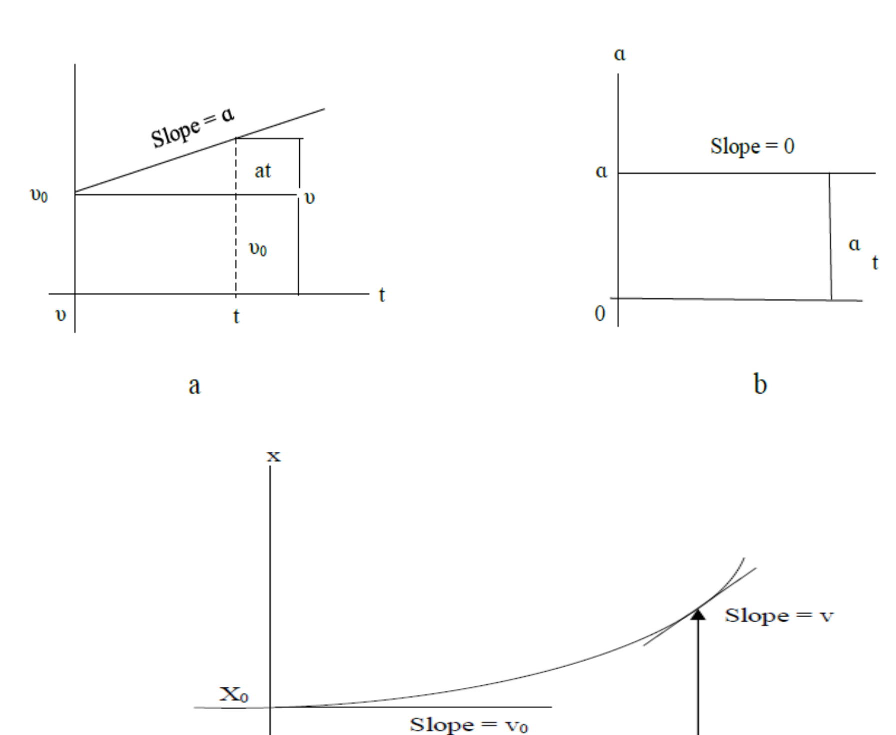
السرعة أو تتناقص بنفس المعدل أثناء الحركة. وسوف نذكر هنا معادلات الحركة منتظمة العجلة

معادلة الحركة الأولى: (السرعة – الزمن) First equation of motion

إذا افترضنا أن جسماً يتحرك بسرعة فعلية v_i م/ث سوف يصبح له عجلة a م/ ث٢ وبمرور الزمن سوف تزداد السرعة بقيمة عددية من a لكل ثانية يتحرك بها الجسم، وسوف تساوي الزيادة السرعة بمرور الزمن t القيمة at.
ويمكن الحصول على السرعة النهائية v_f بعد زمن t من المعادلة التالية:

$$v_f = v_i + at$$

وتسمي هذه المعادلة بمعادلة الحركة الأولي، والشكل التالي يمثل منحنى السرعة مع الزمن.



معادلة الحركة الثانية: (الازاحة – الزمن) Second equation of motion

إذا كان للجسم المتحرك بعجلة منتظمة سرعة متوسطة v مساوية لنصف مجموع السرعة الابتدائية v_i والسرعة النهائية v_f أو المتوسط الحسابي لهما.

$$v = \frac{v_i + v_f}{2}$$

وحيث أن

$$v_f = v_i + at$$

تكون السرعة المتوسطة مساوية للقيمة

$$v = \frac{v_i + v_i + at}{2} = v_i + ½at$$

والمسافة المقطوعة (الازاحة) X = السرعة المتوسطة * الزمن

$$X = (v_i + ½at)t$$

$$X = v_i t + ½at^2$$

وهذه الصيغة هي المعادلة الثانية للحركة.

معادلة الحركة الثالثة: (الازاحة – السرعة) Third equation of motion

يمكن الحصول على المعادلة الثالثة للحركة بالتخلص من t من المعادلتين الأولى والثانية ويتم ذلك كالتالي:

بتربيع طرفي المعادلة

$$v_f = v_i + at$$

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2v_i at + at^2$$

وبأخذ $2a$ عامل مشترك بين الجزئيين الأخيرين للجانب الأيمن

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2a\,(v_i t + ½at^2)$$

وحيث أن الجزء ما بين الأقواس يساوي X تصبح المعادلة كالتالي

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2aX$$

وهذه الصيغة هي المعادلة الثالثة للحركة، ويمكن إجمال معادلات الحركة في الجدول التالي:

معادلات الحركة فى خط مستقيم تحت عجلة ثابتة

Equations	
$v_f = v_i + at$	Velocity as a function of Time السرعة دالة للزمن
$X = v_i t + ½at^2$	Displacement as a function of Time الازاحة دالة للزمن
${v_f}^2 = {v_i}^2 + 2aX$	Velocity as a function of displacement السرعة دالة للازاحة

قوانين الحركة أو قوانين نيوتن **The lows of Motion**

تناولنا في الموضوعات السابقة وصف الحركة بدراسة مفاهيم المسافة - الازاحة - السرعة - العجلة والزمن دون الحاجة لذكر مسببات الحركة وسنوضح فيما يلي كيفية تولد العجلة نتيجة القوة. ويعتبر العالم إسحق نيوتن أول من جمع قوانين الحركة التي فسرت العديد من الظواهر الفيزيائية ووضع بها حجر الأساس لعلم الميكانيكا الكلاسيكية، حيث جمعها في ثلاثة قوانين عرفت باسم قوانين نيوتن في الحركة، وقد ربط في هذه القوانين الثلاث بين حركة الجسم والقوة التي أثّرت عليه، فأدت إلى حركته.

مفهوم القوة **The Concept of force**

القوة مصطلح شائع الاستخدام في الحياة اليومية فمثلاً عندما تدفع أو تجذب جسما ما فإنك تبذل قوة عليه وبالمثل عندما ترفع ثقلاً، وهذه القوة مرتبطة بنشاط عضلي وتغير في حالة حركته مع ملاحظة أن القوة لا تسبب بالضرورة الحركة فإذا جلست على مكتب للقراءة مثلا فإن قوة الجاذبية تؤثر عليك ومع ذلك تظل ساكنا وهكذا أمثلة كثيرة، ما القوة التي تدفع نجماً بعيداً للحركة الحرة فى الفضاء ؟
أجاب نيوتن على ذلك بأن التغير فى السرعة لأى جسم يكون نتيجة بذل قوة عليه وعلى ذلك فإن جسماً متحركاً بانتظام لا يتطلب قوة ليظل فى حركته حيث أن القوة هى وحدها التى تجعل الجسم يتحرك.

دعنا نتناول حالة تأثير أكثر من قوة فى نفس الوقت على هدف ما، فى هذه الحالة فإن الهدف سيتسارع عندما تؤثر عليه محصلة هذه القوى فإذا كان ناتج هذه القوى المختلفة الغير متوازية صفرا فإن العجلة ستكون صفرا وتظل سرعة الجسم ثابتة معنى ذلك أن محصلة القوى المؤثرة على الهدف تكون صفرا وفى هذه الحالة فإن الجسم إما أن يكون فى حالة سكون أو سيظل متحركا بسرعة ثابتة. ونستنتج من ذلك: عندما تكون سرعة جسم المتجهة تكون ثابتة أو إذا كان الجسم فى حالة سكون فسيقال أن الجسم فى حالة اتزان.

يلاحظ أيضا أنه عندما تبذل قوة على جسم ما فإن شكله يمكن أن يتغير وهذا التغير فى الشكل يمكن أن يظل مستديما إذا كانت القوة المؤثرة عليه كبيرة مثل إصطدام سيارتين مثلا.

يهمنا فى هذا الجزء من المقرر دراسة العلاقة بين القوة المؤثرة على هدف ما وعجلة هذا الهدف، فمثلا إذا جذبنا سوسته أو ملف معدني فإن مسافة التمدد يمكن قياسها وتكون تعبيراً عن مدى القوة أو عندما يتم جذب عربة ستتحرك وتقاوم الاحتكاك بالأرض وهكذا هناك أمثلة كثيرة لنوع من القوة يسمى قوة التلامس أي التلامس الطبيعي بين جسمين، وهناك أيضا القوة التي تبذلها جزيئات غاز على جدار الإناء الحامل له.

وهناك نوع آخر من القوة التي لا تشمل احتكاك طبيعي بين جسمين ولكن تؤثر خلال الفراغ وتعرف بالقوى الحقلية مثل القوة الناتجة من الجاذبية الأرضية بين جسمين وهذه القوة تجعل الأجسام مرتبطة بالأرض وهو ما يعرف بوزن الأجسام، وكمثال لهذ النوع من القوى كواكب المجموعة الشمسية وهى متماسكة تحت تأثير قوى الجاذبية وبالمثل القوة الكهربية حيث تؤثر شحنة كهربية على شحنة كهربية أخرى مثل تأثير إلكترون على بروتون لتكوين ذرة الأيدروجين وأيضا مثل تأثير قضيب ممغنط على قطعة من الحديد وهذه القوى بين الأنوية الذرية عبارة عن قوى حقلية ولكن مداها قصير وهى عبارة عن التأثير السائد المسئول عن فصل الجسيمات عن بعضها فى مدى 10^{-15}m.

ومن هنا يمكن تعريف القوة بأنها:

مؤثر خارجي يؤثر على الأجسام فيسبب تغييراً في حالة الجسم أو اتجاهه أو موضعه أو حركته. فمثلا عندما نصدم كرة فهي تتحرك، وعندما نصدم كرة متحركة فهي تنحرف عن مسارها. فالقوة هي نسبة تغير كمية الحركة بالنسبة للزمن. وتقاس القوة باستخدام الميزان الزنبركي ووحدة قياسها هي النيوتن (كجم. م / $ث^2$)

وسوف نوضح فى هذا الجزء أن عجلة جسم متحرك ناتجة عن القوة المؤثرة عليه وكتلته، وهى تمثل تفاعل هذا الجسم مع البيئة المحيطة به. وهنا سيتم دراسة قوانين القوة التى تصف كمياً حساب القوة المؤثرة على جسم متحرك إذا عرف محيطه وفى هذا الخصوص سنجد أن قوانين القوه بالرغم من بساطتها فقد استطاعت تفسير كثير من الظواهر الطبيعية أو التجارب الخاصة بها.

١- قانون نيوتن الأول: Newton’s first law

يرتبط هذا القانون بمفهوم القصور الذاتي ارتباطاً وثيقاً حتى أنه يعرف بقانون القصور الذاتي، فقد كان المعتقد قديماً أن طبيعة المادة هي حالة السكون بمعنى أن حركة أي شيء تؤو إلى السكون إلا أنه قد أظهرت التجارب العلمية الحديثة أن سبب ذلك يرجع إلى وجود قوى احتكاك تقاوم الجسم المتحرك وتعمل على ابطائه حتى يقف، وفى عدم وجود هذه القوى لاستمر الجسم في حركته دون توقف.

وينص القانون على أن الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً ما لم يتم التأثير عليهما بقوة خارجية، أي أن الأجسام لا يمكن أن تتحرك أو تتوقف أو تغير اتجاهها من تلقاء نفسها، حيث يتطلب الأمر قوة خارجية تؤثر عليها لإحداث التغيير.

والصيغة الرياضية للقانون: $\sum F = 0$

والمقدار $\sum F$ هو القوة المحصلة التي تؤثر على الجسم.

ونستنتج من هذا القانون أن سرعة الجسم لا تتغير سواء كان ساكناً أو متحركاً طالما محصلة القوة تساوي صفر وبالتالي فإن العجلة تساوي صفر، كما نستنتج أننا نحتاج قوة لتحريك الأجسام الساكنة أو ايقاف المتحركة ولكننا لا نحتاج قوة لجعلها تستمر في حركتها بسرعة ثابتة.

مفهوم القصور الذاتي: Inertia

يقصد بالقصور الذاتي ميل الأجسام الساكنة إلى البقاء في حالة السكون وميل الأجسام المتحركة للاستمرار في الحركة بسرعته الأصلية في خط مستقيم، بمعنى أن الأجسام تقاوم تغيير حالتها من سكون أو حركة.

وتتوقف امكانية ايقاف الأجسام التي تتحرك تحت تأثير القصور الذاتي على كتلة وسرعة الأجسام، فمثلاً يصعب ايقاف جرار زراعي بينما يسهل ايقاف دراجة صغيرة

يتحركا بنفس السرعة، وأيضاً يصعب ايقاف الجرار المتحرك بسرعة كبيرة بينما يسهل ايقافه إذا كانت سرعته صغيرة.

ويمكن هنا وضع علاقة تربط بين الكتلة والسرعة بكمية فيزيائية تعرف بكمية التحرك

$$P = m\,v$$

حيث P = كمية التحرك وهى كمية متجهة وحداتها كجم. م / ث ، m = الكتلة ، v = السرعة

٢- قانون نيوتن الثاني: Newton's second law

تبين لنا من قانون الحركة الأول لنيوتن أن الجسم الذى لا تؤثر عليه قوة لا يتحرك بعجلة والعكس صحيح أن الجسم الذي تؤثر عليه قوة خارجية بمعنى أن $(\sum F \neq 0)$ تتغير سرعته ويكتسب عجلة أي أن $(a \neq 0)$ ولقد حدد نيوتن العوامل التي تتوقف عليها العجلة من خلال قانونه الثاني كما يلى والذي ينص على:
القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوي المعدل الزمني للتغير في كمية تحرك هذا الجسم.
ويشير هذا القانون إلى تأثير القوة الخارجية على الجسم، حيث يصف ما يحدث لجسم عند التأثير عليه من قوة خارجية، أي أنه عندما تؤثر قوة ثابتة على جسم فإن ذلك يؤدي إلى تغيير سرعته بمعدل ثابت أي يؤدي إلى تسارعه، أي أن الجسم قد يسرع أو يبطئ أو يغير من اتجاهه، وذلك حسب اتجاه القوة، واتجاه الجسم ويمكن صياغة القانون بعبارة أخرى كما يلي: إذا أثرت قوة محصلة على جسم أكسبته عجلة تتناسب طردياً مع القوة المؤثرة وعكسياً مع كتلة هذا الجسم، ويعبر عن هذا القانون بالعلاقة:

$$F = m\,a \text{ or } a = F/m$$

حيث إن القوة والعجلة كميتان متجهتان، ويمكن أن تكون القوة منفردة أو محصلة قوى، فعند تعرض الجسم لقوة ثابتة، فإن ذلك يؤدي إلى تسارعه؛ أي تغير سرعته بمعدل ثابت، فعند تعرض جسم ساكن لقوة خارجية، فإن ذلك سيؤدي إلى تسارعه باتجاه القوة نفسها، أو محصلة القوى المؤثرة، وفي حال كان الجسم متحركاً في الأصل، فإن القوة ستزيد سرعة الجسم أو تبطئها، ويمكن أن تغير اتجاهها اعتماداً على اتجاه القوة والجسم.

الكتلة والوزن: Mass and Weight

يمكن من خلال قانون نيوتن الثاني التفرقة بين الكتلة والوزن كما يلي:

أولاً: الكتلة Mass

تعرف الكتلة بصورة عامة على أنها مقدار ما يحتويه الجسم من مادة، وتبعاً للقانون سوف نجد صعوبة إذا أردنا تحريك جرار زراعي مقارنة بتحريك دراجة، لذلك يمكن أن نقول أن الجرار يمانع أي تغيير في حالته الحركية أكثر من ممانعة الدراجة فالكتلة يمكن أن نعرفها أيضاً على أنها مقدار ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية. وهي كمية فيزيائية أساسية قياسية وحداتها هي الجرام ومضاعفاته كجم والطن.

ثانياً: الوزن Weight

أيضاً من خلال نفس القانون، يتضح لنا أن أي جسم يكتسب عجلة فلا بد من وجود قوة تؤثر عليه، فمثلاً في حالة سقوط جسم فإنه يتحرك بعجلة السقوط الحر مما يعني أن الجسم يتأثر بقوة تعرف بقوة الجاذبية الأرضية، من هنا يمكن أن نعرف الوزن على أنه قوة جذب الأرض للجسم ويكون اتجاهه نحو مركز الأرض ويمكن حسابه من العلاقة: $W = mg$

وهو كمية متجهة وحداتها هي النيوتن (كجم. م/ث^{٢}) وقد سبق تعريفه.
وعلى ذلك فالوزن ليس خاصية ذاتية للجسم ولا يجب الخلط بينه وبين الكتلة فمثلا:
إذا كانت كتلة جسم 70 kg فإن مقدار وزنه في مكان ما حيث ($g = 9.80\ m/s^2$) هى $mg = 687\ N$. أما عند قمة جبل حيث $g = 9.76\ m/s^2$ فإن هذا الوزن سيكون 683N وهذا يعادل نقصاً في الوزن مقداره 0.416.

٣- قانون نيوتن الثالث: Newton’s third law

يبحث القانون الثالث لنيوتن في طبيعة القوى التي تؤثر على الأجسام والتي تتواجد بشكل أزواج متساوية في المقدار ومتضادة في الاتجاه، وينص القانون على:
عندما يؤثر جسم على جسم آخر بقوة فإن الجسم الثاني يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية لها في المقدار ومضادة لها في الاتجاه، أي أن لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه، والصيغة الرياضية لهذا القانون: $F_1 = -F_2$
ويصف هذا القانون ما يحدث للجسم عندما يمارس قوة على جسم آخر، إذ إن تأثير القوة ينشأ بين زوجين من الأجسام، فعند دفع جسم لآخر بقوة معينة فإن الجسم المندفع سيدفع الجسم الآخر بمقدار القوة نفسها لحظة دفعه، وإذا كان الجسم المؤثر أكبر بشكل هائل من الجسم الآخر فإن الجسم الأكبر لن يتأثر بقوة رد فعل الجسم الآخر، أو قد يؤثر تأثيراً ضعيفاً جداً بحيث يمكن إهماله.

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform circular motion

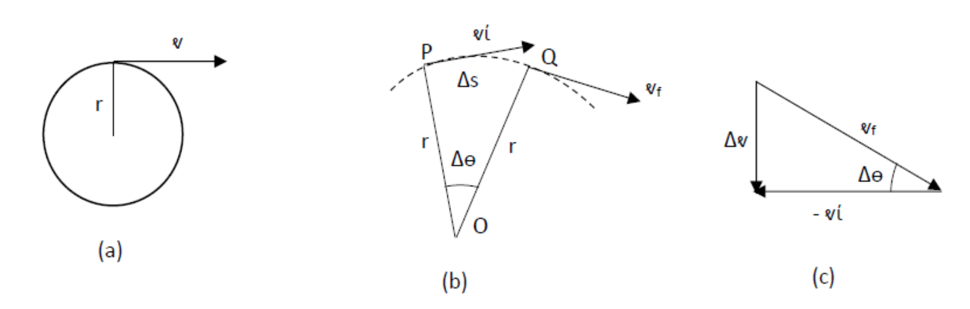
إذا تحرك جسم حركة دائرية بسرعة خطية ثابتة (v) فإن هذا الجسم لا يزال له عجلة بالرغم من أن السرعة اللحظية السابقة أى سرعة البداية ثابتة ولفهم ذلك نرجع الى معادلة العجلة المتوسطة.

$$\bar{a} = \Delta v / \Delta t$$

حيث أن العجلة تعتمد على التغير فى متجه السرعة، ولأن السرعة عبارة عن متجه فهناك طريقتان لإيجاد العجلة:

١- بواسطة التغير فى قيمة السرعة ٢- بالتغير فى اتجاه السرعة.

وفى الحالة الأخيرة فإنها تمثل الحركة الدائرية مع ثبات السرعة، وأن متجه السرعة دائما هو المماس لمنحنى الحركة وهو فى هذه الحالة عمودي على r كما فى الشكل التالي.



(a) الحركة الدائرية لجسم متحرك بسرعة لحظية ثابتة

(b) عندما يتحرك الجسيم من نقطة P الى نقطة Q فإن اتجاه متجه السرعة يتغير من v_i الى v_f

(c) يبين اتجاه التغير للسرعة Δv ناحية مركز الدائرة.

يلاحظ أن متجه العجلة فى هذه الحالة عمودي على منحنى الدائرة ودائما ما يشير الى مركز الدائرة ويسمى التسارع نحو مركز العجلة (متجها دائما ناحية المركز) ودرجته تحددها المعادلة التالية:

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

بعض تطبيقات الحركة الدائرية في المجال الزراعي

- أجهزة فصل السوائل والغرويات أو جهاز الطرد المركزي Centrifuge

يتكون هذا الجهاز من عمود رأسي يدار بواسطة آلة بها العديد من التروس التي يمكن ادارتها يدوياً أو ميكانيكياً بواسطة موتور كهربي وتوضع السوائل المراد فصل

مكوناتها فى أنابيب توضع فى نهاية عدة حوامل تمثل نصف قطر الدائرة التى ستدور بها الأنابيب.

والأساس العلمي لعملية الفصل الذي يستخدم قوة الطرد المركزي لإسراع عملية الفصل تعتمد على أنه إذا تعرض مخلوط من سائلين أو مادتين مختلفتي الكثافة (كالدهن العالق في الماء أو حبيبات الطين المعلقة في الماء) لتأثير الطرد المركزي فإن السوائل تنفصل حسب كثافتها فالسائل الأكبر كثافة يطرد للخارج بقوة أكبر، بينما يظل الأقل كثافة أقرب للمحور تبعاً للعلاقة الرياضية:

$$Fc= m\,v^2 / r$$

حيث Fc = قوة الطرد المركزي، m = كتلة الجسم، v = السرعة التي يتحرك بها الجسم، r = المسافة بين محور الجسم ومحور الدوران وهو متجه الحركة (نصف قطر الدوران).

ويستعمل الجهاز الذي يستخدم قوة الطرد المركزي في:

- فصل وترسيب المعلقات مثل فصل حبيبات الطين من معلقات التربة
- فصل كرات الدم وبويضات البلهارسيا عند تحليل البول
- تنقية السكر وفصل بلورات السكر (السكر السنترفيش) في مصانع السكر
- فصل مستحلبات الزيوت
- تنقية زيت الموتور في الجرارات الزراعية
- فصل القشدة من اللبن في جهاز فراز اللبن
- تقدير المكافئ الرطوبي للتربة
- عمل المروحة في طلمبات الطرد على سحب تيار مستمر من المياه من أنبوبة السحب وبذلك يستمر تيار دفع المياه

وقد تمكن في بعض أجهزة الفصل الحديثة التحكم في عدد اللفات وزمن الدوران وأيضاً درجة الحرارة حتى تتم عملية الفصل تحت لزوجة أو كثافة محددة للسوائل.

جهاز الطرد المركزي: يستخدم لفصل السوائل والغرويات	
جهاز فراز اللبن اليدوي: يستخدم لفصل القشدة من اللبن	

جهاز فصل قشدة اللبن عالي السرعة	
جهاز حلة الضغط: يستخدم في تقدير المكافئ الرطوبي	
جهاز الضغط الغشائي: يستخدم في تقدير ثوابت الرطوبة الأرضية	

الشغل، الطاقة والقدرة Work, Energy and Power

يعتبر مفهوم الطاقة واحدا من أهم المفاهيم الفيزيائية فى العلوم المعاصرة أو فى الأعمال الهندسية، والسائد عن الطاقة أنها تكاليف الوقود وغير ذلك مما يلزم لإنجاز عمل ما وأن الوقود مثلا يمدنا بما يسمى الطاقة.

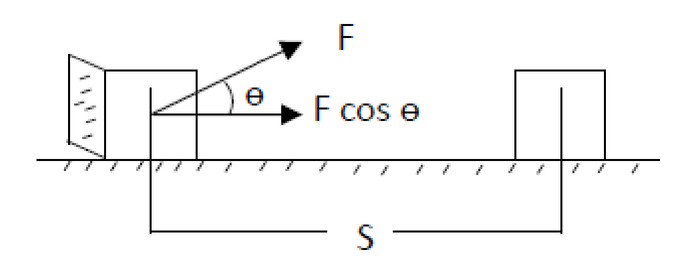
توجد الطاقة فى أشكال عدة منها الطاقة الميكانيكية، الكهربية، المغناطيسية، الكيميائية والنووية والواقع أن هذه الأشكال من الطاقة ذات صلة ببعضها من حيث انتقال الطاقة من شكل الى آخر إلا أن الكمية الكلية للطاقة تظل ثابتة وهذا المفهوم يجعل الطاقة مفيدة ومهمة حيث أنها فى نظام مغلق فإن فقد الطاقة من شكل ما يحدد مساره قانون بقاء الطاقة الذى يقول أن فقد الطاقة من شكل ما يتحول إلى شكل آخر بنفس الكمية فمثلاً إذا تم توصيل موتور كهربي ببطارية فإن الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربائية. وتحول الطاقة من شكل آخر من الموضوعات الهامة فى مجالات كثيرة منها الفيزياء والهندسة والكيمياء والبيولوجي والجيولوجيا والفلك.

إن حركة أى جسم تسببها قوة تعمل عليها وهذه القوة قد تكون ثابتة أو متغيرة وسوف يقتصر معالجتنا لهذه الظاهرة لحركة الجسم وما تحدثه من شغل تحت قوة ثابتة.

الشغل: Work

يستخدم علماء الفيزياء كلمة الشغل للدلالة على معنى خاص مختلف عن معناها المستخدم في الحياه اليومية، فلكي تبذل شغلاً ما على جسم فلابد وأن يتحرك الجسم ازاحة ما كنتيجة للشغل أو القوة المبذولة وإذا لم تحدث تلك الحركة أو الازاحة فلن يكون هنالك شغل مبذول مهما كانت القوة التي بذلت.

ويمكن حساب الشغل المبذول إذا تصورنا هدفاً ينتقل على طول خط مستقيم تحت تأثير قوة F ثابتة تحدث زاوية θ مع الازاحة s كما يوضحه الشكل التالي:



فإن الشغل الناتج بواسطة قوة ثابتة يعرف بأنه حاصل ضرب محصلة القوة فى اتجاه ومقدار الإزاحة. وحيث أن محصلة القوة فى اتجاه s هو $F \cos \theta$ فإن الشغل W الناتج من القوة F يحدده القانون التالي:

$$W = F \cos \theta \, s$$

ووحدات الشغل هي (نيوتن. متر) أو الجول Joule (j) نسبة إلى العالم الانجليزي جيمس جول الذي لاحظ أن الشغل يولد حرارة فقد وجد أن درجة حرارة الماء في أسفل الشلال أكبر منها في الأعلى مما يثبت أن جزءاً من طاقة المياه الساقطة تحول إلى حرارة، ويمكن تعريف الجول بأنه:

الشغل المبذول بواسطة قوة مقدارها واحد نيوتن لتحرك جسماً ما ازاحة مقدارها واحد متر في اتجاه القوة.

وبناءً على ما سبق يحدث الشغل تحت الظروف التالية:

١- يجب أن ينتقل الهدف.

٢- يجب أن لا تكون محصلة القوة صفر في اتجاه الازاحة.

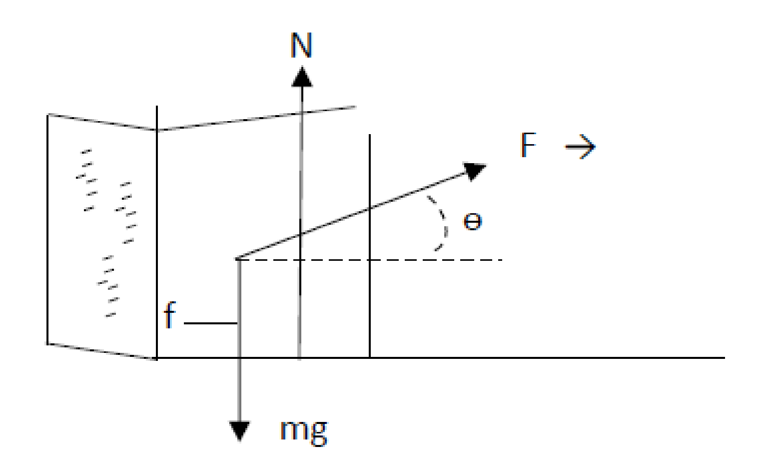
ومن هنا نلاحظ أن القوة لا تعمل إذا كان هذا الهدف لا ينتقل (S=0)، فمثلا إذا دفع شخص ما حائطا من الطوب فإن هناك قوة مبذولة على الحائط ولكن هذا الشخص لا يؤدى شغلا طالما أن الحائط ثابتا.

أى أن القوة المبذولة لم تؤدى إلى عمل ما طالما أن الحائط لم يتحرك. إلا ان هذا الشخص قد استعمل طاقة عضلاته وبالتالي فإن هناك طاقة داخلية internal energy قد استعملت ومن هنا نرى أن معنى الشغل Work يختلف فى الفيزياء عما هو مفهوم فى الحياة اليومية .

كذلك إذا حملت ثقلا على طول ذراعك لفترة من الزمن فلن يكون شغلا قد حدث على هذا الثقل بالرغم من أنك قد بذلت قوة الى أعلى لحمل الثقل وأن الشغل الناتج من القوة صفرا حيث أن الإزاحة صفرا إلا أنك تؤكد ان هذا المجهود إحتاج الكثير من الشغل .

نلاحظ من المثال الأخير أن الشغل الناتج من القوة يساوى صفر إذا كانت القوة عمودية على اتجاه الإزاحة حيث $\theta = 90^\circ$ وأن صفرا $= \cos 90^\circ$

والشكل التالي يوضح أن الشغل المبذول بواسطة قوة عمودية والشغل الناتج من قوة الجاذبية يساوى صفر طالما أن القوتين عموديتين على اتجاه الإزاحة s



فى الشكل السابق عندما يتم تحريك هدف أفقيا على سطح خشن فإن القوة العمودية N والوزن mg لا يؤديان الى شغل ونجد أن الشغل الناتج بواسطة F هو $(F \cos \theta)\ s$ وأن الشغل الناتج من قوة الاحتكاك هو Fs.

من ذلك أن علاقة الشغل تعتمد على اتجاه القوة F بالنسبة لـ s من المثال السابق نجد أن الشغل المبذول بواسطة F موجبا إذا كان المتجه المرتبط بمكون $F \cos \theta$ فى نفس اتجاه الإزاحة فمثلا إذا رفع جسم الى أعلى أى فى نفس اتجاه الإزاحة فإن القوة المستعملة تكون علاقتها موجبة وقوة الجاذبية تكون سالبة. وإذا كان المتجه المرتبط بمكون $F \cos \theta$ فى الاتجاه العكسي لاتجاه الإزاحة فإن W تكون سالبة ولذلك فإن عامل $\cos \theta$ يظهر فى تعريف W بالعلاقة المناسبة.

أ- احسب الشغل المبذول بواسطة قوة 50 N

الحل: بتطبيق معادلة (7.1) حيث $F = 50\ N\ ,\ \theta = 37^\circ\ ,\ s = 3\ m$

$$W_F = (F \cos \theta)\ s = (50\ N)\ (\cos 37^\circ)\ (3\ M)$$
$$= 50 \times 0.8 \times 3 = 120$$

وأن محصلة القوة العمودي F لا يعمل.

ب – احسب الشغل المبذول بقوة الاحتكاك

$$W_F = -F\ s = (-10\ N)\ (3\ m)$$
$$= -\ 30\ N.\ m = -\ 30\ J$$

جـ - احسب محصلة الشغل المبذول على الصندوق بواسطة كل القوى المبذولة عليه حيث أن القوة العمودية N وقوة الجاذبية mg كلاهما عمودي على اتجاه الإزاحة فإنهما لا يسببا شغلا وتكون محصلة الشغل المبذول على الصندوق تساوى مجموع أ + ب

$$W_{met} = W_F + W_f = 120\ J - 30\ J = 90\ J$$

مثال: أوجد محصلة القوى المبذولة على الصندوق إذا تم جذبه لمسافة ٣ م بقوة أفقية 50 N على فرض أن قوة الاحتكاك 15 N

الإجابة 105 J

الطاقة: Energy

من تعريفنا للشغل إذا كان الجسم قادراً على بذل شغل فإنه يمتلك طاقة والتي يمكن تعريفها بشكل مبسط على أنها قدرة الجسم على أداء أو بذل شغل، ووحداتها على ذلك هي نفس وحدات الشغل وهي الجول.

وهناك صور مختلفة للطاقة والتي يمكنها أن تتحول من صورة لأخرى وتخضع في ذلك لقانون بقاء الطاقة والذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكن يمكن أن تتحول من صورة لأخرى، فمثلاً يمكن أن تتحول الطاقة الحرارية الواصلة من الشمس إلى طاقة كهربية وهكذا. ونوضح فيما يلي صورة الطاقة ووصفها أو تعريفها:

شكل الطاقة	الوصف
طاقة الحركة	هي الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب حركته
طاقة الوضع	هي الطاقة التي يكتبسها الجسم نتيجة وقوعه تحت تأثير الجاذبية الأرضية
الطاقة الميكانيكية	هو مجموع طاقتي الوضع والحركة
الطاقة الكيميائية	هي الطاقة المخزنة في الروابط بين الذرات في الجزيئات
الطاقة الكهربائية	هي الطاقة التي تحدث نتيجة المجالات الكهربية
الطاقة المغناطيسية	هي الطاقة التي تحدث نتيجة المجالات المغناطيسية
الطاقة الاشعاعية	هو شكل خاص من الحقول الكهرومغناطيسية نتيجة الشحنات المتحركة
الطاقة النووية	هي طاقة الارتباط والتي تربط الجسميات النووية في النواه
طاقة التأين	هي الطاقة اللازمة لنزع الكترون من الذرة
الطاقة الحرارية	هي الطاقة الناتجة عن حركة الذرات والجزيئات وتنتقل بالتوصيل والاشعاع

القدرة: Power

يمكن تقسيم وتصنيف الآلات عن طريق السرعة التي تحول بها الطاقة أو تؤدي شغلاً، وعلى ذلك يمكن تعريف القدرة على أنها معدل انتقال أو تحول الطاقة. وبمعنى آخر هى المعدل الذي يتم به الشغل أو الذي يتم به نقل الطاقة في وحدة زمنية.

ويتم زيادة القدرة إذا تم انجاز العمل أو الشغل بشكل أسرع أو نقل الطاقة في وقت أقل. ويتم حساب القدرة من المعادلة التالية:

$$P = \frac{W}{t}$$

حيث P هى القدرة (وات)، W الشغل المبذول (جول)، t مقدار الزمن (ثانية)

والقدرة كمية قياسية ليس لها اتجاه ووحداتها هي الجول/ الثانية أو الوات watt والذي يمكن تعريفه على أنه معدل تحول طاقة واحد جول لكل ثانية.

ونظراً لأن الشغل هو حاصل ضرب القوة في الازاحة $W= F*d$ والسرعة المتجهة هي خارج قسمة الازاحة على الزمن $(V=d/t)$ فعلى ذلك فالقدرة تساوي حاصل ضرب القوة في السرعة $(P = F*V)$ وبناءً على ذلك تكون القدرة أكبر عندما يكون النظام قوياً سريعاً في نفس الوقت.

ويمكن استخدام القدرة الحصانية *Horsepower* لوصف الطاقة التي يتم توصيلها بواسطة الآلة، والقدرة الحصانية هي وحدة قياس القدرة في النظام البريطاني وتعني القدرة المطلوبة لرفع ٥٥٠ رطلاً لقدم واحدة في ثانية واحدة وهي حوالي ٧٤٦ وات.

وغالباً ما ينظر إلى الوات في ضوء لمبات الاضاءة، فهو يعني في نطاق قياس الطاقة المعدل الذي يقوم به المصباح بتحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء وحرارة، ويستهلك المصباح ذو القدرة الكهربية الأعلى كمية أكبر من الكهرباء لكل وحدة زمنية، يمكن التوصل إلى كمية الشغل التي يتم انتاجها $(W=Pt)$ إذا تم معرفة قوة النظام، فمثلاً إذا كانت للمبة معدل قدرة يبلغ ٥٠ وات فإنها تنتج ٥٠ جول في الثانية = ١٨٠٠٠٠جول في الساعة.

الوحدة الثالثة: الضوء

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- طبيعة الضوء
- نظريات الضوء الحديثة
- قياس سرعة الضوء
- انعكاس الضوء
- انكسار الضوء
- خاصية انتشار الضوء
- الموجات الكهرومغناطيسية
- البصريات الهندسية
- تداخل الموجات الضوئية
- تطبيقات الضوء في المجال الزراعي

الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- فهم طبيعة الضوء
- معرفة نظريات الضوء الحديثة
- كيفية قياس سرعة الضوء
- معرفة انعكاس الضوء
- معرفة انكسار الضوء
- فهم خاصية انتشار الضوء
- معرفة طبيعة الموجات الكهرومغناطيسية
- فهم البصريات الهندسية
- معرفة تداخل الموجات الضوئية
- الالمام ببعض تطبيقات الضوء في المجال الزراعي

البصريات Optics

طبيعة الضوء:

إن أول من صحح نظريات الإغريق عن الصخور كان العالم العربى الحسن بن الهيثم وهو عالم رياضيات أصلا ولد بالبصرة وعاش بها (٩٦٥-١٠٣٩م) وهو مؤسس علم الضوء الحديث وأول من صحح نظريات بطليموس وأرسطو طاليس التى كانت تقول أن الضوء إما أن يخرج من العين فيضئ الأشياء أو أن الأشياء نفسها تشع الضوء الى العين وأثبت أن الضوء ينعكس من الأشياء الى العين وكذلك أول من إكتشف الأطوال الموجية فى ألوان الطيف المرئى وأهم مؤلفاته كتاب المناظر الذى ترجم الى اللاتينية وأهم ما فيه أن أشعة الضوء مستقيمة . وكان أول من سجل صورة إنعكاسات أشعة الضوء على الأشياء وتسجيلها فى غرف مظلمة من خلال ثقب ضيق وهو أول من إخترع الكاميرا وأول من من إهتم بالتجربة لإثبات النظرية أو إستعمال الرياضيات فى ذلك وذلك قبل عصر النهضة الأوربي، جاء بعده بن سهيل عالم مجهول إكتشف قانون إنكسار الضوء إذا مر خلال وسط مختلف فى الكثافة وليس Snell مكتشف إنكسار الضوء، وحدد زاوية السقوط والانكسار بالنسبة لخط رئيسي.

نظريات الضوء الحديثة:

تتلخص نظريات الضوء الحديثة فى نظريتين أساسيتين:

النظرية الأولى وهى الأقدم تعتبر الضوء عبارة عن جسيمات Particles تنبعث من مصدر ضوئى وهذه تؤثر على الرؤية فى العين للإحساس بها.

أما النظرية الثانية وهى فى الأساس نظرية ماكسويل Maxell (1873) الذى أكد أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية عالية التردد electromagnetic وقد تنبأت نظريته أن هذه الموجات لابد أن يكون لها سرعة حوالى 3×10^8 m/s وهى بالتقريب قريبة من سرعة الضوء وقد تمكن ماكسويل من الإستدلال على هذه الموجات بالتجربة عام 1887 وقد زعم هرتز Hertz وغيره من الباحثين أن هذه الموجات أظهرت إنعكاسا وإنكسارا وكل الصفات الموجية الأخرى.

إلا أن بعض التجارب اللاحقة لم تستطع إثبات الطبيعة الموجية للضوء من حيث قدرته على إزاحة الألكترونات من سطح معدنى عرض سطحه للضوء وهو ما يسمى بتأثير photoelectric وقد أثبتت التجارب فيما بعد أن الطاقة الحركية للإلكترونات لا تعتمد على قوة الضوء، إلا أن أينشتين عام ١٩٠٥ إستعمل فكرة الكوانتم التى طورها ماكس بلانك عام ١٩٥٥ ونموذج الكوانتم هذا يفترض أن طاقة الموجه الضوئية توجد على هيئة حزم تسمى فوتونات photons وطبقا لنظرية أينشتين فإن طاقة الفوتون تتناسب مع تردد الموجه الكهربية المغناطيسية حيث $E = hf$ ....E طاقة الفوتون .

حيث E هى طاقة الفوتون ، h هو ثابت بلانك ويساوى 6.63×10^{-34} J.s وهو ثابت ذرى يوجد فى معادلات الاشعاع الذرى.
ونظرية أينشتين هذه تشمل النظريتين المذكورتين ومن هنا وفى ضوء هذا التقدم فى فهم الضوء يمكن ان نعتبر الضوء ذو طبيعة مزدوجة dual nature أى أنه فى بعض الحالات يبدو أنه ذو طبيعة موجية وفى بعض الحالات الأخرى يبدو حبيبات أو أجسام وفى معالجة مواضيع الضوء سنعتمد على الطبيعة الموجية للضوء .

قياس سرعة الضوء:

يمر الضوء بسرعة فائقة high speed ($\approx 3\times 10^8$ m/s) وهذه السرعة هى التى أخفقت المحاولات الأولى لقياس سرعة الضوء إلا أن الفكرة الأساسية لطريقة فيزو Fizeau (1849) تعتمد على قياس الفترة الزمنية التى ينطلق فيها شعاع ليسقط على مرآة عاكسة ورجوعه الى نقطة إنطلاقه فإذا كانت المسافة من نقطة الإنطلاق الى المرآة d فإن المسافة الكلية للإنطلاق والرجوع هى 2d وإذا كان زمن الإنطلاق الأولى t فإن السرعة :

$$C = 2\,d / t$$

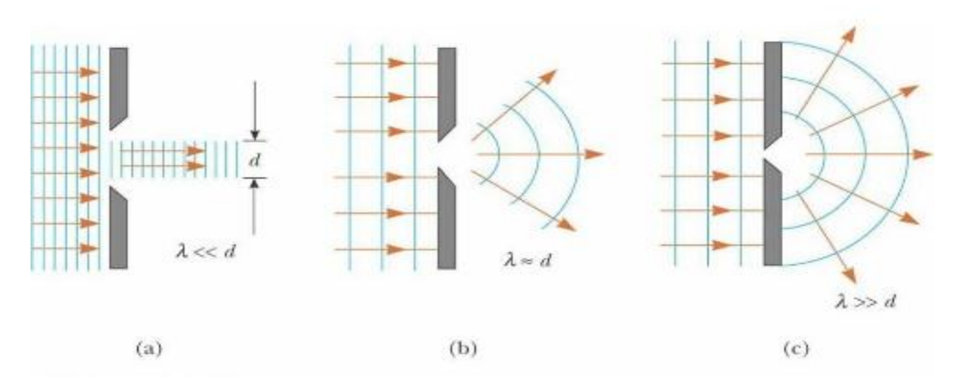
ولقياس وقت الرحلة الواحدة فإن فيزو إستعمل عجلة مثل الترس لها أسنان يمر الضوء خلال فجوة فى أسنان الترس ويرجع من خلال السنة الثانية بدوران الترس ومن هنا فإن إدارة الترس المسلط عليه الضوء والمنطلق الى المرآة على مسافة d ثم عودة الشعاع الى الترس بعد دورانه يجعل الشخص المراقب يرى الضوء عبارة عن نبضات يمكن تسجيل سرعة ظهورها بدورات الترس فإذا علمت المسافة d وعدد أسنان الترس والسرعة الزاوية للعجلة فقد تمكن فيزو من تعيين سرعة الضوء

$$c = 3.1 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وقد تمكن العلماء فيما بعد من تقدير سرعة الضوء بطريقة أدق وهى 2.9977×10^8 m/s . إن دراسة الضوء أو علم البصريات فى هذا المقرر ستكون على جزئين: الجزء الأول وهو قياس الإنعكاس والإنكسار وحيود الضوء عن مساره diffraction وهو ما يسمى بالبصريات الهندسية Geometric Optics وفى هذا الخصوص فإننا نفترض أن الأشعة عبارة عن حزمة متوازية مستقيمة تسير فى إتجاه عمودى على جهة الموجة فإذا لاقى حاجزا مصمتا لا يمر الضوء أما إذا كان الحاجز مثقبا فهناك الاحتمالات التالية:

- إذا كان قطر الثقب d أكبر من الطول الموجي λ يمر الضوء فى خطوط مستقيمة
- إذا كان قطر الثقب d يساوى تقريبا الطول الموجي $d \approx \lambda$ فإن الضوء ينتشر خارج الثقب فى جميع الاتجاهات وتسمى هذه الظاهرة بحيود الضوء diffraction

- إذا كان قطر الثقب d أقل من الطول الموجي λ أو بمعنى آخر إذا كان الطول الموجي أكبر بكثير من قطر الثقب يحدث انتشار للضوء كما هو موضح فى الشكل التالي.



الانعكاس والانكسار Reflection and Refraction

١- انعكاس الضوء:

إذا مر الضوء من وسط الى آخر مختلف عنه فى الكثافة يحدث له انعكاس الى نفس الوسط القادم منه ويقال أن أشعة الضوء انعكست ويلاحظ أنه إذا كانت الأشعة الساقطة مستقيمة ومتوازية فإن الأشعة المنعكسة تكون أيضا مستقيمة ومستوية ونلاحظ أن زاوية سقوط الشعاع هى الزاوية التى يصنعها مع العمودي بالنسبة للخط المستقيم الفاصل بين الوسطين وهى زاوية السقوط θ_1 وزاوية الإنعكاس على هذا الخط المستقيم هى $\theta_1^/$ بحيث:

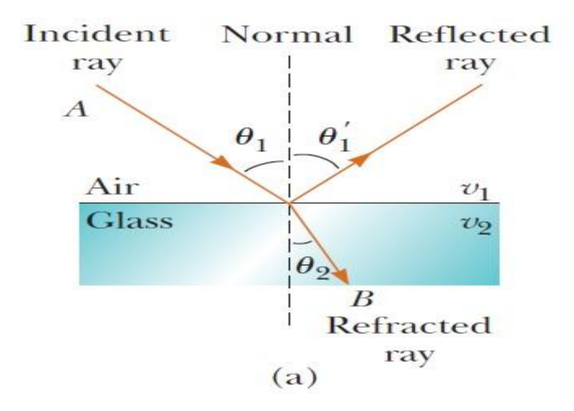
$$\theta_1 = \theta_1^/$$

٢- انكسار الضوء Refraction

إن الضوء إذا مر خلال وسط شفاف إلى وسط آخر شفاف مختلف عنه فى الكثافة فإن الضوء يحدث له الآتي: يسقط الضوء من وسط شفاف إلى وسط آخر يفصلهما خط مستقيم وليكن θ_1 ويحدث له انكسار أو انثناء عند الخط الفاصل بالنسبة للعمودي عليه ويقال للشعاع أنه حدث له Refraction (انكسار) إلا أن جزء من الشعاع الساقط قد ينعكس على السطح الفاصل ويعود الى نفس الوسط الساقط منه وتسمى زاوية الانكسار θ_2 مع العمودي على السطح الفاصل كما فى الشكل التالي مع ملاحظة أن زاوية السقوط تساوى زاوية الانعكاس ونجد أن هناك علاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار تعتمد على سرعة مرور الضوء v كما فى المعادلة :

$$\frac{sine\ \theta_2}{sine\ \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = constant \qquad (35.3)............$$

حيث أن v_2 سرعة الضوء فى الوسط الثانى و v_1 سرعة الضوء فى الوسط الأول كما فى الشكل التالى :



فإذا مر الضوء خلال فراغ vacuum نجد أن سرعته تكون أسرع من أى سرعة له فى وسط آخر وتسمى السرعة الأولى السرعة العظمى وتسمى نسبة السرعة فى الفراغ إلى السرعة فى أى وسط معامل الانكسار index of Refraction (n):

$$n = \frac{\text{سرعة الضوء فى الفراغ}}{\text{سرعة الضوء فى الوسط}} = \frac{C}{v}$$

معامل الانكسار ليس له حدود وهو دائما أكبر من الوحدة لأن v دائما أقل من C، ومعامل الانكسار للضوء فى الفراغ $n = 1$ وبالتالى فإن معاملات الانكسار لكثير من المواد تقاس بالنسبة للفراغ. والجدول التالى يبين معامل الإنكسار لبعض المواد (عند ٢٠°مئوية)

المادة	معامل الإنكسار	المادة	معامل الإنكسار
الماس	2.419	البنزين	1.501
الكوارتز	1.458	كحول الإيثيل	1.361
الزجاج	1.52	الجلسرين	1.473
الماء(ثلج)	1.309	الماء	1.333
الزركون	1.923	الكندا بلسم	1.537

ويلاحظ أنه إذا مر الضوء من وسط الى آخر فإن التردد لا يتغير أى يظل ثابتا وعلى ذلك فإن العلاقة $v = f\lambda$ يجب أن تنطبق على الوسطين وبالتالى فإنه يمكن تمثيل هذه العلاقة كما يلى :-

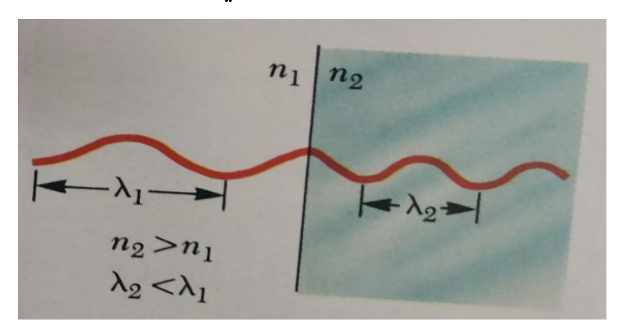
$v_1 = f\,\lambda$, $v_2 = f\,\lambda_2$ $(F_1 = F_2 = F)$

من هاتين المعادلتين يتضح أن التردد f يظل ثابتا بينما يختلف الطول الموجي، يمكن أيضا إيجاد علاقة بين معامل الإنكسار والطول الموجى كما يلى:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} \ldots\ldots\ldots (35.5)$$

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2 \qquad (35.6) \ldots\ldots\ldots$$

معنى ذلك ان معامل الانكسار للوسط الأول يختلف عن معامل الإنكسار فى الوسط الثانى وتبع ذلك إختلاف الطول الموجى عن الطول الموجى للشعاع الأصلى الساقط على الوسط الثانى كما يوضحه الشكل التالي.



فإذا كان الوسط الأول الفراغ (أو الهواء من الناحية العملية) فإن $n_1 = 1$ وهو إستنتاج من المعادلة السابقة وبالتالى فإن معامل الإنكسار لأى وسط يمكن أن يعبر عنه كنسبة من الأطوال الموجية:

$$n = \frac{\lambda_O}{\lambda_m}$$

حيث λ_O الطول الموجى فى الفراغ وأن λ_n الطول الموجى للوسط الذى معامل إنكساره n .

فإذا استبدلنا معادلة (35.5) بمعادلة (35.3) نحصل على قانون Snell وهو

$$(35.8) \ldots\ldots\ldots\ldots n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

مثال (١): إذا مر شعاع ضوئي طوله الموجي 55 nm من الهواء ليسقط على شريحة زجاجية شفافة بزاوية قدرها 40° مع العمودي وأن الشعاع المنكسر يصنع زاوية مقدارها 26° مع العمودي أوجد معامل الانكسار الشريحة الزجاجية.

الحل :

من قانون سنل للانكسار (معادلة 35.8)

حيث $\theta_2 = 26^\circ$ والهواء $\theta_1 = 40^\circ$, $n_1 = 1.00$

فإن $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$n_2 = \frac{m_1 \sin \theta_1}{\sin\theta_2} = (1.0)\frac{(\sin 40^{\circ})}{\sin 26^{\circ}} = \frac{0.643}{0.438} = 1.47$$

مثال (٢): يمر ضوء بطول موجى 589 nm من الفراغ الى قطعة من الكوارتز (n = 1.458) إوجد سرعة الضوء فى الكوارتز.

الحل:

يمكن إيجاد سرعة الضوء فى الكوارتز من المعادلة ($n = \frac{c}{v}$)

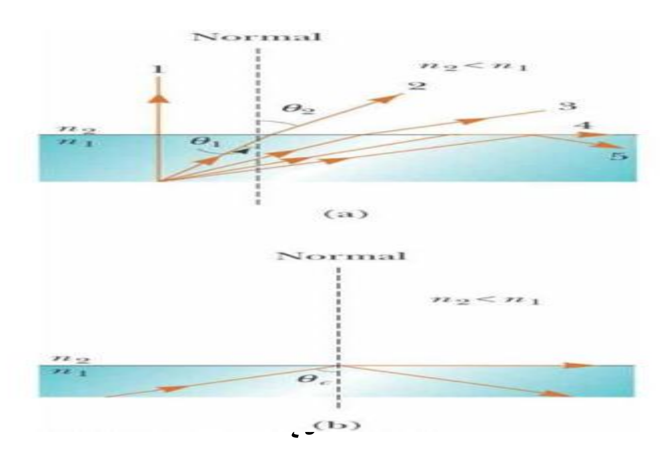
$$v = \frac{c}{m} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{1.458} = 2.058 \times 10^8\ m/s$$

<u>خاصية إنتشار الضوء:</u>

من أهم الاستنتاجات السابقة أن معامل الانكسار يختلف باختلاف الطول الموجي للشعاع المستعمل من ذلك أن معامل الانكسار n هو دالة للطول الموجي ومن قانون Snell الذى يدل على أن الضوء بأطواله الموجية سينكسر أيضا بزوايا مختلفة إذا سقط على مادة شفافة تسمح بمرور الضوء ومن ذلك أن الضوء الأزرق سينكسر أكثر من الضوء الأحمر عند المرور بمادة تكسر الضوء وقد تم دراسة ذلك فى المراحل الدراسية السابقة، حيث يستعمل المنشور الزجاجى فى الغالب لدراسة معامل الانكسار لمادة المنشور.

<u>الإنكسار التام والزاوية الحرجة</u>

إذا كان معامل n_1 أكبر من n_2 فإن الشعاع المنكسر سيكون أكثر بعدا عن العمودى على الحد الفاصل بين الوسطين ونعلم أيضا أن جزءا من هذا الشعاع ينعكس، أما الانكسار فإنه يعتمد على زاوية السقوط فإذا زادت زاوية السقوط O_c فإن الشعاع قد يزداد انكساره حتى يكون موازيا للحد الفاصل بين المستويين وتسمى هذه الزاوية بالزاوية الحرجة Critical angle وتكون θ_2 (الشكل التالي).



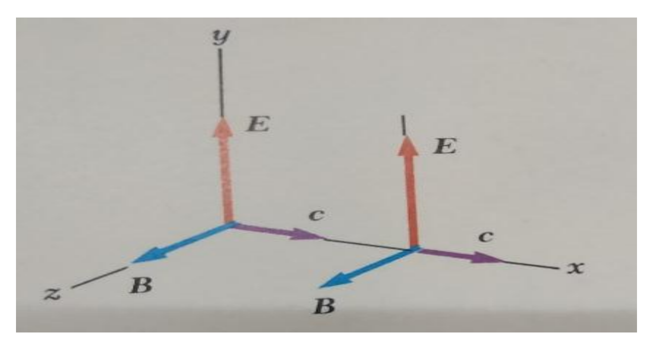
يمكن تلخيص ذلك فى القاعدة التالية:
يحدث انكسار تام (انعكاس داخلي) عندما يمر الضوء من وسط ذو معامل انكسار ما إلى وسط ذو معامل انكسار أقل.

الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic waves

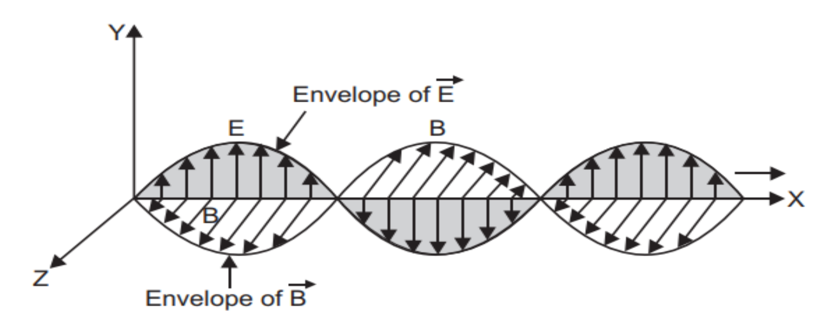
هذه الموجات نوع خاص من الطاقة له خواص مغناطيسية كهربية من أنواع أخرى من الموجات وهذه الموجات خلاف الموجات الميكانيكية الأخرى يمكنها أن تنتشر فى الفراغ. تمكن ماكسويل (١٨٣١) من وضع معادلات توضح الظواهر المغناطيسية الكهربية (يمكن الرجوع إليها فى المراجع المعروفة). تمكن بعدها هرتز Heinrich Hertz (١٨٨٨) من إثبات توقعات ماكسويل بإنتاج موجات كهرومغناطيسية فى المعمل وهو ما أدى إلى التطور العملى لصناعة الراديو والتلفزيون والرادار كذلك فإن ماكسويل وجد موضوعات الضوء والاشعاع الكهرومغناطيسي.
من معادلات ماكسويل الأربعة الشهيرة فى الأماكن الحرة وجد أن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية هى:

$$C = 2.99692 \times 10^{8} \text{ m/s}$$

حيث C هى سرعة الموجة.
وهى نفس سرعة الضوء فى الفراغ مما إستدعى الإعتقاد بأن الضوء ما هو إلا موجات كهرومغناطيسية، كذلك وجد أن مكونات الحقل الكهربى والمغناطيسى للموجات المستوية الكهرومغناطيسية عمودية على اتجاه الانتشار، وهى تسير فى إتجاه واحد x وأن الحقل الكهربى E فى إتجاه y والحقل المغناطيسى B فى إتجاه z. والشكل التالي يوضح موجة كهرومغناطيسية مذبذبة فى مستوى واحد Plane polarized فى اتجاه x الموجب وأن الحقل الكهربي فى اتجاه y والحقل المغناطيسي فى اتجاه z وأن هذه الحقول تعتمد على x ، t.



تتبادل هذه الحقول اتجاهاتها بالنسبة لـ y،z على طول الاتجاه x (الشكل التالي) يوضح طيف الموجات الكهرومغناطيسية Spectrum of Electromagnetic waves



حيث أن هذه الموجات تنتقل فى الفراغ بسرعة الضوء فإنها تنقل الطاقة وكمية الحركة أو ما يسمى بزخم الحركة Momentum (وهى تساوى كتلة الجسم المتحرك × سرعته) من المصدر إلى المستقبل.

وفى سنة ١٨٨٧ م تمكن هرتز بنجاح من توليد تردد موجات الراديو والاستدلال عليها ولم يكن يعرف فى ذلك الوقت إلا موجات الضوء المرئي، أما الأن قد أمكن التعرف على أشكال أخرى من الموجات الكهرومغناطيسية وتحديد ترددها وطول موجاتها.

وحيث أن هذه الموجات الكهرومغناطيسية تنتقل فى الفراغ بسرعة C فإن ترددها f وطول موجاتها λ تمثلها المعادلة:

$$C = f\lambda$$

وعلى سبيل المثال فإن موجة الراديو ذات تردد 5 MHz لها طول موجي:

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \times 10^8\ m/s}{5 \times 10^6\ s^{-1}} = 60$$

$$1 \text{ Micrometer } (\mu m) = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nanometer } (nm) = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ angstrom } (A^\circ) = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$$

ويتضح من ذلك أن الطول الموجي للضوء المرئى يتراوح بين 0.4 – 0.7 µm أو 400 – 700 nm أو 4000 – 7000 A° .

وأمثلة أخرى :

١- Microwaves عبارة عن موجات قصيرة لها طول موجي يتراوح بين 1 – 30 mm وهى تستعمل فى الأنظمة الرادارية المستعملة فى الطائرات وكذلك فى دراسة الخواص الذرية والجزيئية للمواد وتستعمل أيضا فى الأفران المنزلية كما أنه يمكن توجيه الطاقة الشمسية الى الأرض باستعمال هذه الأشعة وهو النظام المستعمل فى الأقمار الصناعية.

٢- الموجات فوق الحمراء Infrared (وهى ما يطلق عليها الموجات الحرارية) لها أطوال موجية تتراوح بين 1 mm حتى أطول موجة للطيف المرئي وهى 7×10^{-7} m وهذه الأشعة تصدر من الأجسام الساخنة والجزيئات وتمتص بمعظم المواد حيث تظهر على هيئة حرارة حيث تتسبب فى تحريك ذرات المواد (زيادة ذبذبتها) وتستعمل فى أغراض كثيرة منها العلاج الطبيعي والتصوير الفوتوغرافي وأجهزة السبكتروسكوب.

ويمكن تلخيص ما سبق فى الأتى :

١- تعتبر قوانين الانعكاس والانكسار لأشعة الضوء هى القوانين الأساسية فى البصريات الهندسية.

حيث أن قانون الإنعكاس The Law of reflection يعنى أن زاوية الإنعكاس θ'_1 تساوى زاوية السقوط θ، وأن قانون الإنكسار The Law of Refraction (Sneel's Law) يقول أن :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

حيث θ_2 هى زاوية الإنكسار و n_1 ، n_2 معاملات إنكسار الوسطين وأن الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر والعمودى على السطح الفاصل بين الوسطين كلهم فى مستوى واحد.

معامل إنكسار لأى وسط n يحدد بالمعادلة : $n \equiv \frac{C}{v}$

حيث C هى سرعة الضوء فى الفراغ ، v هى سرعة الضوء فى الوسط المعنى وعموما فإن n تتغير مع تغير الطول الموجى أى $n = \frac{\lambda_0}{\lambda_n}$

حيث λ_0 هى الطول الموجي للشعاع فى الفراغ بينما λ_n هى الطول الموجي فى وسط الانتقال.

إن مبدأ هيجنز يقول أن كل النقط على جهة الموجة يمكن اعتبارها مصادر لأشعة ثانوية، وأحيانا فإن الوضع الجديد لجهة الموجة هو عبارة عن سطح المماس لهذه الشعيعات الثانوية.

٢- يحدث الانعكاس الداخلي التام عندما ينتقل الضوء من وسط عال فى معامل انكساره الى وسط أقل فى معامل انكساره وأن أقل زاوية سقوط θ_c التى عندما يحدث انعكاس تام تحدث عند سطح الانفصال حسب المعادلة التالية :

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (\quad n_1 > n_2)$$

وهى الزاوية الحرجة للانعكاس التام

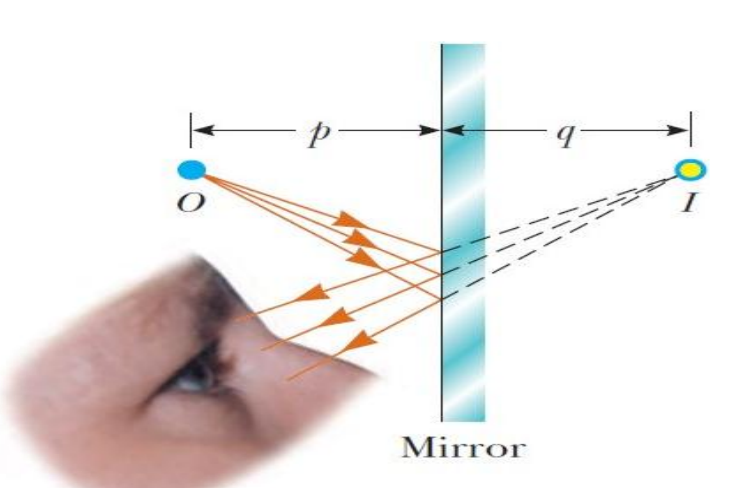
البصريات الهندسية Geometric Optics

يعنى هذا الباب بدراسة تكوين الصور Images التى تتكون عندما تسقط حزمة ضوئية Spherical Waves على مستوى أو سطح دائرى أو كروى وستجد أن هذه الصور تتكون نتيجة الإنعكاس أو الإنكسار وبالذات ما يعنينا هو المرايا والعدسات وهى وحدات تستعمل فى الأجهزة والأنظمة الضوئية وسوف يتم الإشارة الى هذين الموضوعين بإختصار شديد لدراستها فى مقرر خاص.

هناك أيضا ما يختص بموضوع التداخل بين الأمواج الضوئية Interference وتأثيرات حيود الأشعة Diffraction أو البصريات الموجية وسوف يستعمل فى هذا الباب نموذج الشعاع الضوئي.

١- الصور الناتجة من المرايا المستوية:

حيث تظهر الصور خلف المرآة وتكون مصدر الضوء (الهدف) مسافته من المرآة هى المسافة العمودية أمام المرآة للهدف ونجد أن الأشعة الصادرة من هذا الهدف تنعكس على المرآة فإذا تقاطعت مع هذه الأشعة المنعكسة عين الناظر تظهر نقطة الصورة خلف المرآة على مسافة عمودية كما فى الشكل التالي ويبدو الضوء كأنه قادم من هدف على الناحية الأخرى من المرآة.



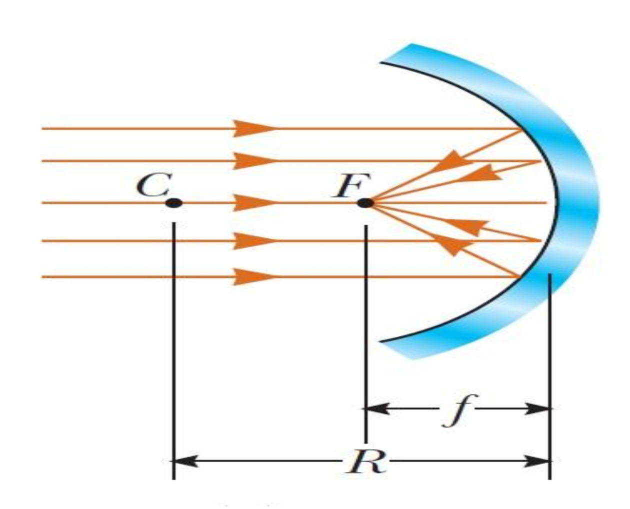
٢- الصور الناتجة من المرايا الكروية (مسافة الصورة لا تساوى مسافة الهدف)،

فيما يلى بعض المصطلحات الهامة المستعملة فى هذا الباب:

- نقطة الهدف ويرمز لها بالرمز o
- نقطة مركز دائرة المرآة ويرمز له بالرمز c (center of curvature)
- الصورة الحقيقية Real Image هى التى تظهر أمام المرآه وليس خلفها ويرمز لها I وهو رمز نقطة الصورة.

- مسافة الهدف S ومسافة الصورة (عن المرآة) S' .
- مركز دائرة المرآه يختلف من مرآة الى أخرى من حيث مسافته ويرمز له بالرمز R .
- النقطة التى تتجمع فيها الأشعة المنعكسة ويطلق عليها F (مكان الصورة) ومسافة هذه النقطة من منتصف جزء المرآة الكروى (v) يسمى الطول البؤرى f (focal length) والرسم التالى يبين حالة معينة حيث مصدر الأشعة من مكان بعيد.

$(s = \infty)$ وبؤرة المرآة f ومسافة الصورة فى هذه الحالة $S' = R/2$ حيث f هى مسافة البؤرة لهذه المرآة.



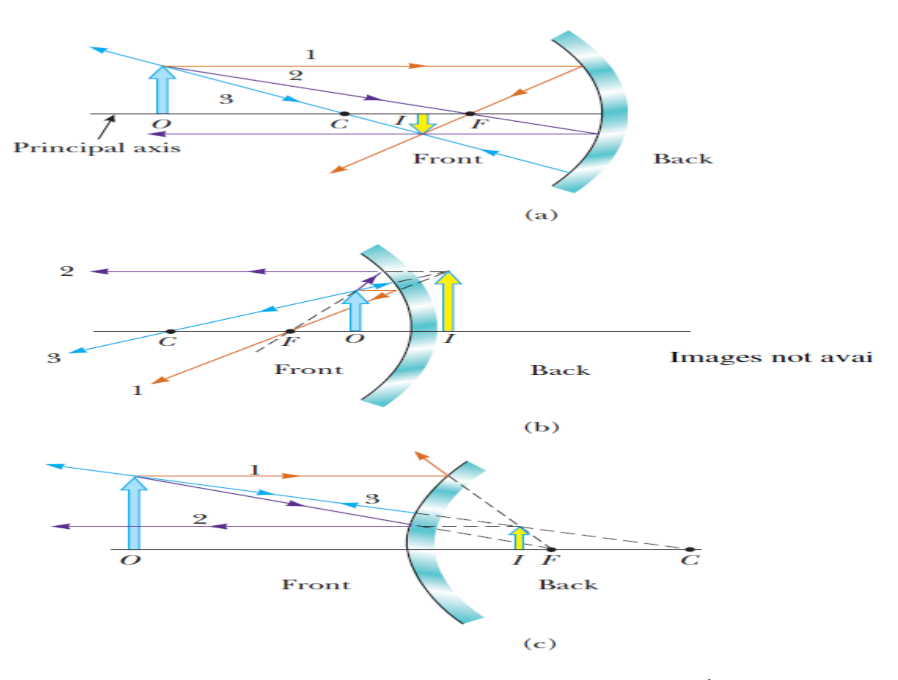
الصورة هنا تقع تقريبا فى منتصف مركز دائرة المرآة ومنتصف التقعر $c \leftarrow f \rightarrow v$

المرايا المقعرة Concave Mirrors

١- إذا كان الهدف (o) أبعد من مركز دائرة المرآة (c) فإن الأشعة المشتتة والصادرة منه تنعكس من المرآة إلى نقطة الصورة أى تظهر الصورة هنا حقيقية أمام المرآة وأصغر ومقلوبة (الشكل التالي)

٢- إذا كان الهدف (o) بين البؤرة والمرآه فإن الصورة تكون تقديرية خلف المرآة.

٣- إذا كان الهدف (o) أبعد من المرآه خلف البؤرة f تبدو الصورة ورائه مقلوبة وأكبر منه وهى صورة حقيقية.



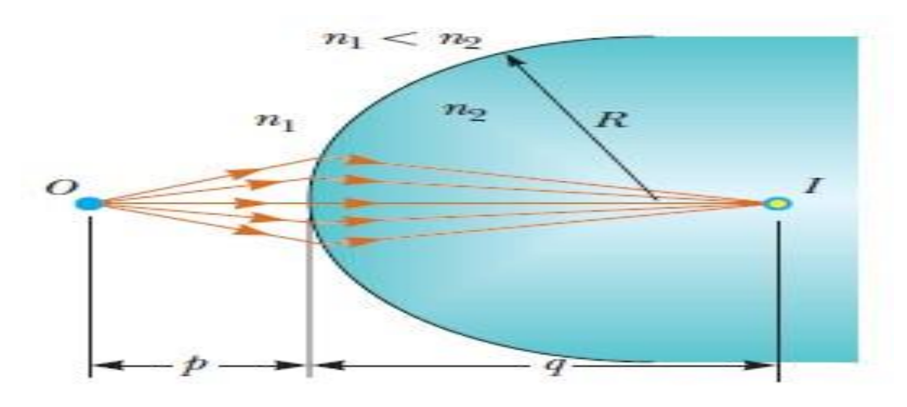
المرايا المحدبة Convex Mirrors

هنا البؤرة ومركز الدائرة خلف المرآة والهدف أمام المرآة ستبدو له صورة تقديرية خلف المرآة بين البعد البؤري والمرآة.

الصور الناتجة من إنكسارات الأشعة Images Formed by Refraction

ن هذه الصورة نتيجة انكسارات الأشعة على سطح كروى شفاف فإذا كان لدينا لين شفافين لهما معاملات انكسار n_1 ، n_2 والحد الفاصل بين الوسطين كروى ف قطر R (الشكل التالي) فإن الهدف O فى الوسط الذى معامل انكساره n_1 فإن الأشعة الصادرة من هذا الهدف ستنكسر على سطح الجسم الكروي وتتجمع فى بؤرة عند النقطة I وهى نقطة الصورة والعلاقة بين معاملات الانكسار للوسطين ومسافة الهدف والصورة (تقديرية) هى:

$$\frac{n_1}{S} + \frac{n_2}{S'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



مثال: وضعت عملة ذات قطر ٢ سم فى كرة زجاجية مصمتة بنصف قطر ٣٠ سم، معامل انكسار الكرة ١.٥ والعملة على مسافة ٣٠ سم من السطح، أوجد مكان وارتفاع صورة العملة.

الحل:

الأشعة الناتجة من الهدف تنكسر بعيدا عن العمودى على السطح وتتشتت للخارج وتكون الصورة المتكونة فى الزجاج تقديرية.

وبتطبيق المعادلة السابقة:

$$n_1 = 1.5 \quad , \quad n_2 = 1 \quad , \quad S = 20 \text{ cm} \quad , \quad R = -30 \text{ cm}$$

$$\frac{n_1}{S} + \frac{n_2}{S'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$\frac{1.5}{20\ cm} + \frac{1}{S'} = \frac{1 - 1.5}{-30\ cm}$$

$$S' = -17.1 \text{ cm}$$

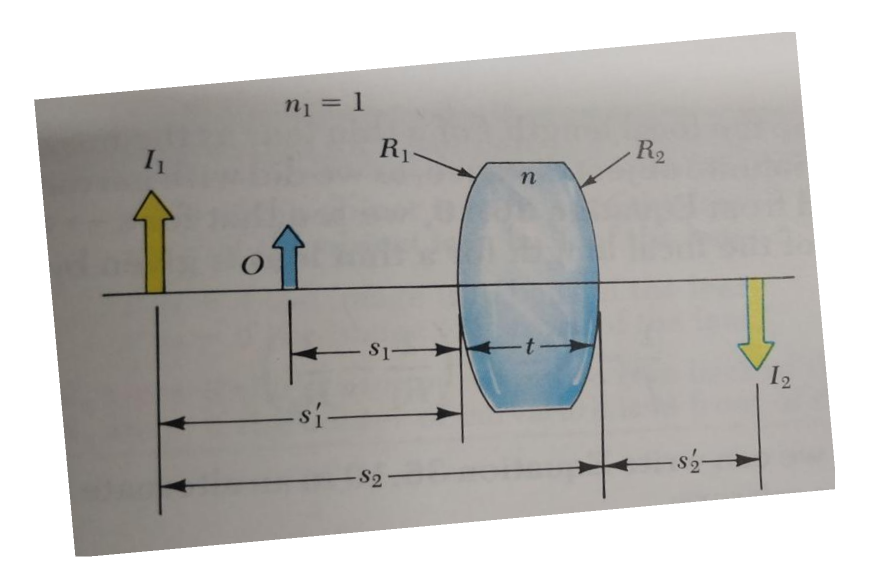
العدسات Lenses

تستعمل العدسات لتكوين صورة بواسطة ظاهرة الانعكاس فى الأجهزة البصرية، سوف تستعمل الطرق التى سبق دراستها فى هذا الموضوع لتحديد مكان الصورة. والفكرة الأساسية لتحديد الصورة النهائية لعدسة ما هى استعمال الصورة المكونة بواسطة سطح انكسار ليكون الهدف للسطح الثاني.

والشكل التالي يظهر فيه أن معامل انكسار العدسة n وأن نصف قطر سطحي العدسة R_1 ،R_2 بوضع هدف عند النقطة O على مسافة S_1 أمام سطح الانكسار الأول، فى هذا المثال فقد أختير S_1 ليظهر الصورة التقديرية I_1 على يسار العدسة، هذه الصورة ستكون هدفا للسطح الأخر الذى له نصف قطر R_2 الذى ينتج عنه صورة حقيقية I_2.

باستعمال المعادلة السابقة نفرض أن $n_1 = 1$ ونجد أن الصورة التى تكونت من السطح الأول تحقق المعادلة :

$$\frac{1}{S_1} + \frac{n}{S'_1} = \frac{n-1}{R_1} \qquad (1) \dots\dots\dots\dots\dots$$



بتطبيق المعادلة التى ذكرت من قبل ونفرض أن $n_1 = n$ ، $n_2 = 1$ ومعنى هذا أن الضوء يقترب من سطح الانكسار الثاني كما لو كان قد أتى من الصورة I_1 المكونة بواسطة سطح الانكسار الأول وبفرض S_2 هى مسافة الهدف ،S'_2 هى مسافة الصورة للسطح الثاني.

$$\frac{n}{S_2} + \frac{1}{S'_2} = \frac{1-n}{R_2} \qquad (2) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

لكن $S_2 = -S_1 + t$ حيث t هي سمك العدسة ، S'_1 هو رقم سالب ، S_2 موجب حسب الرسم ، وبالنسبة لعدسة رقيقة يمكن إهمال t .

فى هذا المثال ومن الشكل السابق نرى أن $S_2 = - S'_1$ ولذلك :

$$-\frac{n}{S'_1} + \frac{I}{S'_2} = \frac{I-n}{R_2} \qquad (3) \ldots\ldots\ldots.$$

فى المعادلة السابقة يمكن إختصار S_1 ، S'_2 وتسمى مسافة الهدف S ومسافة الصورة S' لنحصل المعادلة الأتية :

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

بإضافة معادلة ١ ، ٣ نحصل على المعادلة :

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S'_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

هذه المعادلة تطبق فقط فى العدسات ثنائية التحدب biconvex وفى حالة الأشعة المارة بمركز العدسة (المحور الرئيسي) وفى حالة العدسات الرقيقة بالنسبة لأنصاف

أقطار R_1 and R_2 أما العدسات ثنائية التقعر فإنها مشتتة للأشعة المتوازية بينما العدسات ثنائية التحدب فإنها مجمعة للأشعة عند بؤرة أى سطح مقابل للأشعة.

تداخل الموجات الضوئية Interference

يمكن لموجتين أن تضاف لبعضهما بما يفيد التدعيم أو الهدم وهو ما يعبر عنه بتداخل الأمواج، ففي حالة التداخل البنائي أو ما ينتج عنه تدعيم للموجات فإن مدى التردد للموجتين يكون أكبر من مدى التردد لأى منهما وعلى العكس فإن الموجات إذا أضيفت لبعضهما وكانت النتيجة هدم فإن مدى التردد للشعاعين يكون أقل من أى واحد منهما. وعلى ذلك فإن التداخل ظاهرة تمثل موجتين انطبقتا لتكوين موجة واحدة لها مدى تردد أكبر أو أصغر من كليهما.

مقياس مدى التردد كما يلى:

إذا فرضنا أن شعاعا يسير فى إتجاه x ومدى بعده عن x يقاس على المحور y تصبح الإزاحة على هذا المحور هى مدى التردد فإذا كان ثابتا مع الزمن t يمكن القول أن y هى دالة x :

$$y = f(x)$$

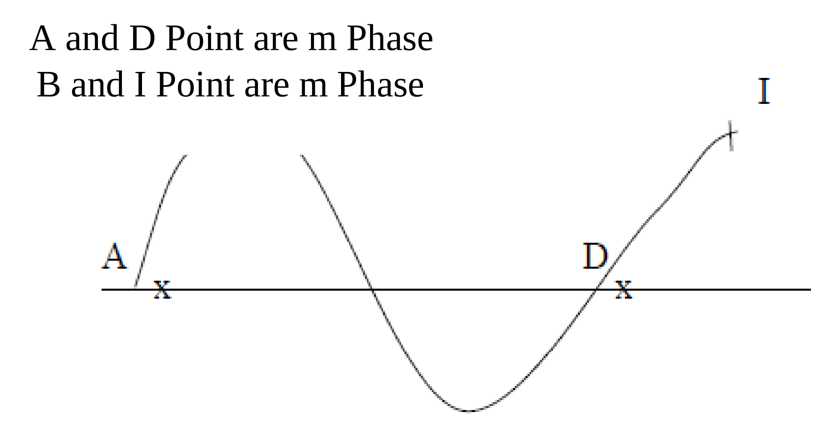
وإذا كان التردد pulse سرعته v والموجة تسير ناحية اليمين على محور x مسافة تقدر vt فى زمن t بشرط أن يكون التردد ثابتا مع مرور الشعاع يمكن إتخاذ y لقياس أى وقت من البداية O

$$y = f(x-vt)$$

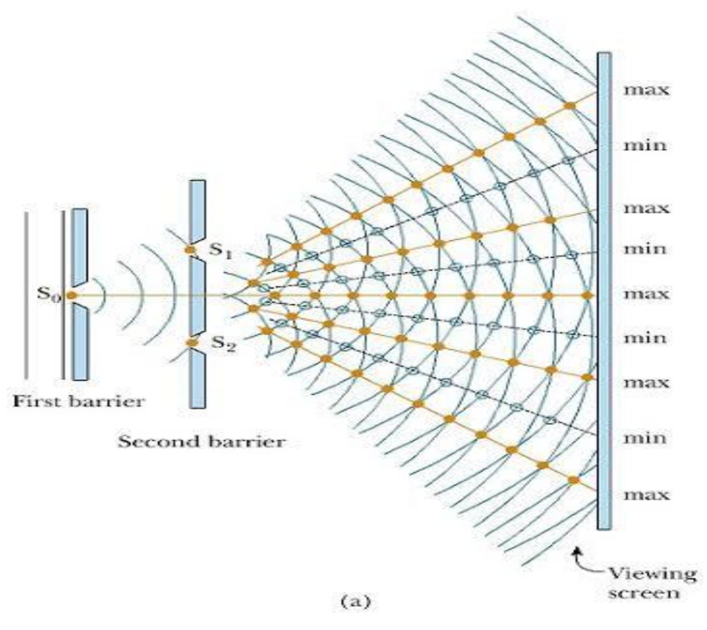
y
v
ym
O
X

إلى هنا والمعلومات مهمة جدا لفهم تداخل الموجات Interference .

وتتراوح سرعة الضوء (الطيف المرئى) بين 400-700 nm أى 40×10^{-7} to 7.0×10^{-7} m فى الثانية وذلك بين الأشعة تحت الحمراء (الأطول) والأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (الأقصر) وهذا يعنى أن تردده يقع ما بين 430-750 THz تراهيرتز. ويقاس الضوء بالطول الموجي (نانومتر) λ أو التردد (Hertz).
ويعرف الطول الموجى بأنه يساوى المسافة بين قمتين من التردد أو المسافة بين منخفضين من الموجة.
ويعرف التردد بأنه عدد الموجات التي تمر بنقطة ما على اتجاه الموجة فى الثانية.
ولملاحظة التداخل بين موجات الضوء لابد أن تتوفر الشروط الأتية:
١- يجب أن تكون مصادر موجة الضوء لها مكان ثابت، أى أن كل نقطتين متتاليتين يجب أن تكون وضعهما على الموجة واحدا.



٢- يجب أن تكون مصادر الضوء له نفس الطول الموجي monochromatic
لقد تم إيضاح ظاهرة تداخل موجات الضوء من مصدرين بواسطة العالم توماس ينج ١٨٠١ كما فى الشكل التالي حيث وضع مصدرا للضوء وأمامه حاجز له فتحتين: فتحة المصدر ضيقه S_O الذى يحدث أن الضوء الخارج من هذه الفتحة S_O يصل إلى الحاجز ذو الفتحتين المتوازيتين S_1 ، S_2 هاتين الفتحتين تمثلان مصدرين للضوء لها نفس الموقعين لأن كل منهما يصدر عن نفس جهة الموجه وعلى ذلك تمثلان علاقة موقع ثابت (جبهة الموجه هى المستويات التى تمثل موجات متوازية تتحرك فى نفس الاتجاه مع الموجه وقد تكون مستوية أو دائرية).



(a)

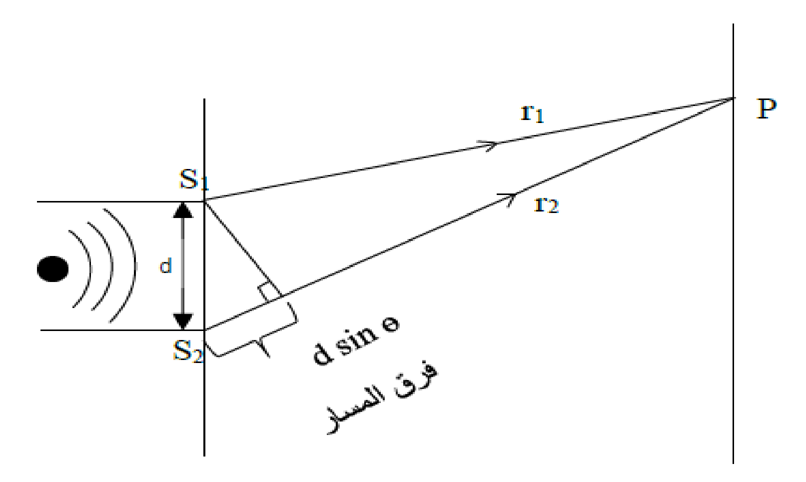
إذا لحقت موجه بأخرى حتى تأخرت عنها فى بداية الإطلاق بعدد صحيح من الطول الموجى يقال أن التداخل هنا بناء Constructive أما إذا كان التأخر أقل من عدد صحيح من الطول الموجى فإن الموجتين تتداخلا هرميا وفى هذه الحالة لا تكون الموجتين فى موقع واحد، مسافة التأخر (أو التقدم) هذه تمثل فرق المسار بين الشعاعين δ حيث أن فرق المسار هذا يساوى: $d \sin \theta$ δ

على فرض أن الشعاعين متوازيين فإن فرق المسار يؤدى الى تداخل بناء إذا كان واحد صحيح من الطول الموجى أى:

$$n \lambda = d \sin \theta$$

حيث n هى عدد صحيح من طول الموجى (1, 2, 3…..).

ومن الشكل التالي نجد أن شعاعين r_1, r_2 أحدهما أسرع من الآخر فى الوصول إلى لوح الاستقبال وهو الشعاع r_1 بمسافة تقديرية $r_2 - r_1 = d \sin \theta$ وقد حسبت بناء على أساس رسم عمود على الموجة r_2 وينتج عنه مثلث قائم يمكن فيه إيجاد فرق المسار.



فإذا كان هذا الفرق عدد صحيح من الطول الموجى يحدث بناء أو تدعيم للموجات وإذا كان غير ذلك يحدث هدم للموجات.

ظاهرة تشتت الضوء Diffraction

هى ظاهرة تصف الإنثناء الظاهرى للأمواج الصادرة من مصدر ضوئى ذو فتحة أقل من الطول الموجى فإذا قابلها عائق صغير تنثنى حوله (تتشتت).

تطبيقات الضوء في المجال الزراعي:

١- الأجهزة المبنية علي الانعكاس والانكسار:

الأجهزة البصرية مثل الميكروسكوب البسيط والذي يستخدم في المعامل لرؤية وفحص الأجسام الدقيقة، وهو يتركب من عدسة محدبة ذات بعد بؤري صغير يوضع الجسم أمامها على بعد أقل من البعد البؤري لها فيتكون للجسم صورة تقديرية معتدلة مكبرة، كما يوضحه الشكل.



٢- أجهزة التحليل المعتمدة على الطيف:

توجد عدة أجهزة تستخدم فى التحليل الكيميائي لمعرفة تركيب المادة وكمياتها وتركيزها وتعتمد أساسا على الطيف المنظور مثال ذلك:-

جهاز قياس شدة طيف العناصر فى اللهب Flam photometer

وهو جهاز يستخدم فى تقدير العناصر فى مركباتها ويعتمد الجهاز على أن مركبات العناصر تتحلل فى اللهب وينبعث منها اشعاعا يكون فى المنطقة المرئية من الطيف وكل عنصر ينبعث منه فى اللهب اشعاع له طول موجى معين يتوقف على نوع العنصر وعليه فإن شدة الانبعاث تتناسب مع تركيز العنصر وتتحول شدة الانبعاث الطيفي هذه بواسطة خلية ضوئية إلى تيار كهربي يمكن قياسه بواسطة جلفانوميتر وبالتالي تتوقف شدة هذا التيار الكهربي على تركيز المادة ويمكن بواسطة هذا الجهاز تقدير تركيز العناصر فى مركباتها. وفى بعض أنواع لهذا الجهاز يمكن الحصول مباشرة عن طريق شاشة رقمية على تركيز العنصر.

ألوان بعض العناصر فى اللهب:

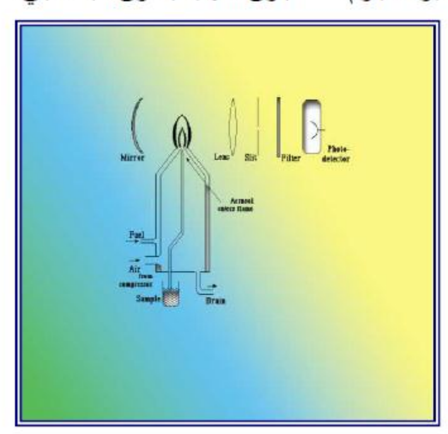
الكالسيوم: يلون اللهب باللون الأحمر

استرانشيوم: يلون اللهب اللون الأحمر القرمزي

الباريوم: يلون اللهب باللون الأخضر

الصوديوم: يلون اللهب باللون الأصفر

البوتاسيوم: يلون اللهب اللون البنفسجي





جهاز قياس شدة طيف العناصر في اللهب Flame photometer

الوحدة الرابعة: خواص السوائل

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- الحالة السائلة للمادة
- التبخير
- الضغط البخاري
- قياس الضغط البخاري للسائل
- درجة الغليان
- درجة التجمد
- حرارة التبخر
- التوتر السطحي
- اللزوجة

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- معرفة خواص السوائل
- معرفة قياس الضغط البخاري لسائل
- أهمية دراسة خواص السوائل في الحياة العملية
- معرفة التوتر السطحي للسوائل وأهميته
- الالمام بأجهزة قياس بعض خواص السوائل والأساس العلمي لها
- معرفة ماهية لزوجة السوائل وأهميتها

الوحدة الرابعة: خواص السوائل

Properties of Liquids

الحالة السائلة للمادة The liquid state of Matter

السوائل هى إحدى حالات المادة تختلف خواص السوائل عن خواص الغازات اختلافا كبيراً ويرجع ذلك إلى طبيعة تكوين كل منهما فبينما نجد أن الغازات تتبع فى سلوكها قوانين بسيطة نجد أن هذه القوانين لا يمكن تطبيقها فى حالة السوائل.

ويمكن تعريف الحالة السائلة للمادة بأنها تلك الحالة التى لا يكون فيها للمادة شكل محدد وإنما تأخذ شكل الإناء أو الحيز الذى تتواجد فيه كما فى الحالة الغازية ألا أن للمادة فى الحالة السائلة سطح كما أن حجمها مميز بذاته.

ويرجع اختلاف خواص السوائل عن الغازات إلى نظرية الحركة لجزيئات المادة فتكون الجزيئات فى الحالة السائلة متقاربة بحيث تصبح المسافة بين الجزيئات وبعضها البعض أقل كثيراً جداً من تلك المسافات بين جزيئات المادة وبعضها البعض فى حالتها الغازية ويتضح ذلك من المثال التالى أن الجزئى الجرامى من سائل الماء عند درجة ١٠٠^{o}م يشغل حجم قدره ١٨.٨مل ولكن عندما يتبخر يشغل حوالى ٣٠٢٠٠ مل تحت ضغط جوى واحد بحيث نجد أن حجم الجزيئات نفسها وكذلك قوى التجاذب بين الجزيئات تصبح ذات تأثير ضعيف على خواص الغاز، بينما نجد عكس ذلك فى حالة السائل حيث تتزايد قوى التجاذب بين جزيئات السائل مما يقيد حركتها، ويمكن ملاحظة ذلك من مقارنة معدلات انتشار الغازات والسوائل حيث نجد أن معدل انتشار أى سائل أصغر بكثير من معدل انتشار أى غاز. ويتضح أيضاً أن التأثيرات الناتجة عن تغير الضغط ودرجة الحرارة فى السائل أقل حده ووضوحاً عما يحدث فى الحالة الغازية، ويمكن اعتبار السائل غازاً تكثف أو جامداً أسيل وبالتالى فإن الحالة السائلة هى حالة وسطية بين الحالتين الصلبة والغازية (جدول ١) .

جدول (١) الفرق بين حالات المادة الثلاثة

الصفة	غاز	سائل	صلب
قوى التجاذب بين الجزيئات	ضعيفة	متوسطة	عالية
حركات الجزيئات	عالية	متوسطة	صفر
المسافة بين الجزيئات	كبيرة	صغيرة	يمكن إهمالها
ترتيب الجزيئات أو النظام	لا يوجد	تتواجد الجزيئات فى مجاميع	ترتيب منظم فى شكل بلوره

التبخير : Evaporation

إذا ترك أى سائل فى إناء مكشوف لمدة طويله فأنه يلاحظ أن حجم السائل يأخذ فى التناقص ويقال أن السائل تحول إلى الحالة الغازية أو تبخر ونجد أنه يوجد اختلاف واضح جداً بين سرعة التبخر للسوائل المختلفة ، فبينما نجد أن تبخير

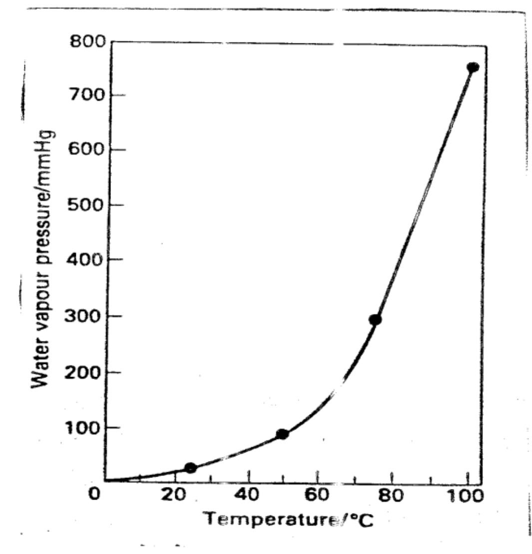
الأيثير سريع جداً ويكون تبخير الزئبق شديد البطء وخطوات تفسير حدوث عملية التبخير جديرة بالاعتبار ويمكن تلخيصها فيما يلى :
على حسب النظرية الحركية Kinetic theory والتى تشير إلى أن كل جزئ يكون فى حركة مستمرة طالما درجة حرارته فوق الصفر المطلق، وتكون جزيئات السائل فى حركة عشوائية يصدم بعضها بعضا والجزيئات داخل السائل عرضه لأى تصادم من جميع الاتجاهات مع الجزيئات المتحركة المحيطة بها وبعض الجزيئات السريعة والتى تصل إلى سطح السائل تمتلك طاقة حركية كافية للتغلب على قوى جذب الجزيئات المحيطة وبالتالى تترك السطح كبخار وتكون جزيئات السائل المتبقية أقل سرعة وبالتالى تنخفض درجة حرارة السائل ويمتص السائل الحرارة مما يحيط به ويظل يرسل جزيئاته كبخار حتى يختفى السائل ويتحول إلى الحالة البخارية.
وتعرف كمية الحرارة الممتصة واللازمة لتحويل ١ جرام من الحالة السائلة إلى حالة غازية " بحرارة التبخر للسائل Heat of vaporization of liquid وتقاس حرارة التبخر بالسعرات ويلاحظ أن معدل التبخر يزداد بزيادة مساحة السطح ودرجة الحرارة وبنقص الضغط الخارجي.
جدول (٢) الضغوط البخارية لمجموعة من السوائل مقدرة كملليمترات زئبق عند درجات حرارة مئوية مختلفة.

مO	ماء	ايثانول	بنزين	هكثان معتاد	أستيون	إيثير إيثيلى	أوكتان معتاد
صفر	٤.٦	١٢.٢	٢٨.٥	٤٧.٢	-	١٨٠.٢	١.٩
٣٠	١٧.٥	٤٤.٩	٧٦.٧	١٢.٦	١٤٨.٨	٤٤٢.٢	١.٣
٤٠	٥٥.٣	١٢٥.٣	١٧٩.٩	٢٨٧.٦	٤٢١.٠	٩٢١.٢	٣٠.٨
٦٠	١٤٩.٤	٣٥٣.٧	٢٨٤.٦	٥٥٥.٩	٨٦٦.٠	-	٧٧.٥
٨٠	٣٥٠.١	٨١٢.٦	٧٤٩.٩	١٠٥٩.٠	-	-	١٧٤.٨
٩٠	٧٦٠.٠٠	-	١٣٨.٠	-	-	-	٣٥٣.٦

الضغط البخاري: vapour pressure

إذا وضع سائل ما فى إناء مغلق فأنه يلاحظ تحول أو هروب بعض الجزيئات من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية ويقابل ذلك عودة وتكثيف جزيئات البخار من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة ويعتمد ذلك على تركيز البخار فوق سطح السائل ويزيد عدد هذه الجزيئات العائدة بزيادة تركيزها فى الحيز، فإذا تساوى عدد الجزيئات العائدة مع عدد الجزيئات الهاربة فى نفس اللحظة وهذه حالة من حالات الاتزان الديناميكى بين السائل وبخاره فيقال فى هذه الحالة أن الحيز أصبح مشبعاً ببخار مادة السائل عند درجة حرارة معينة.
ويعرف الضغط البخاري لسائل: بأنه الضغط الناشئ من الغاز عندما يكون فى حالة توازن مع حالة السائلة ويعتمد قيمة الضغط البخاري للسائل على درجة

الحرارة حيث يزداد الضغط البخاري بارتفاع درجة الحرارة كما يقل بخفضها (شكل (١) وجدول (٢)) عند كل درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة يوجد ضغط بخارى ثابت لكل درجة حرارة.



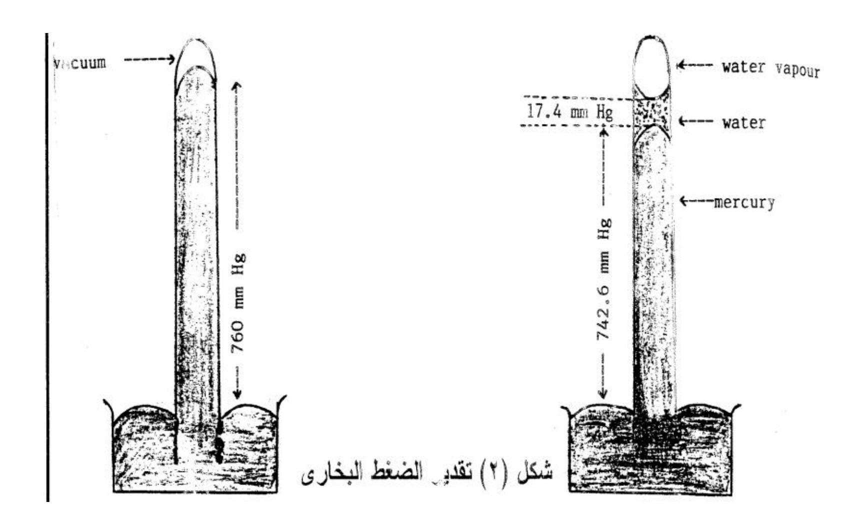
شكل (١) العلاقة بين الضغط البخارى لسائل ودرجة حرارته

قياس الضغط البخارى للسائل:

هناك ثلاث طرق تستخدم لقياس الضغط البخاري للسائل وهى:

أولاً: الطريقة الاستاتيكية

يستخدم لذلك الغرض أنبوبة بارومتر تملئ بالزئبق وتدخل فى الحيز الذى فوق سطح الزئبق كمية من السائل فيتبخر جزء من السائل حتى نصل إلى حالة الاتزان بين السائل نفسه وبخاره فيندفع نتيجة لذلك سطح الزئبق إلى أسفل ويمكن حينئذ تعيين ضغط ذلك البخار بتعيين مقدار الانخفاض فى سطح الزئبق (شكل ٢) يوضح طريقة تقدير الضغط البخارى للماء على درجة حرارة ٢٠°م وكما هو واضح يكون الضغط البخارى للماء عند درجة الحرارة هذه يساوى ١٧.٤مم زئبق.



شكل (٢) تقدير الضغط البخارى

ثانيا: استخدام تيار جاف من الهواء وتشبيعه ببخار الماء

يمر تيار بطئ من الهواء الجاف عند درجة حرارة ثابتة فى كمية من السائل المراد تعيين ضغطه البخارى (الماء مثلا) ثم يسمح التيار من الهواء المشبع ببخار الماء بالمرور بعد ذلك على مجموعة من أنابيب الامتصاص حيث يمتص بخار الماء، فلو علم وزن أنابيب الامتصاص قبل وبعد مرور الهواء أمكننا معرفة وزن البخار الممتص وحيث أن كمية البخار الممتص تتناسب طردياً مع الضغط البخارى للسائل فيمكنا حساب الضغط البخارى للسائل كما يلى:

نفرض أن (v) هو الحجم الذى يحتوى على (m) جرام من السائل المتبخر و(M) الوزن الجزيئى لذلك البخار و(P) الضغط البخاري عند درجة الحرارة (T)

$$PV = nRT$$

$$= \frac{m}{M} RT$$

$$P = \frac{mRT}{vM}$$

مثـال ١

عند تبخير البرومونبزين السائل عند درجة حرارة ٣٠°م بأمرار ٢٠ لترا من الهواء الجاف خلاله، لوحظ أن النقص فى وزن السائل هو ٠.٩٤١٤ جرام، فإذا علمت أن الضغط البارومترى كان ٧٦٠ ملليمتر والوزن الجزيئى للبرومونبزين ١٥٧ فما مقدار الضغط البخارى بالتقريب للبرومونبزين عند هذه الدرجة .

الحـل :

باستخدام المعادلة :

$$P = \frac{mRT}{vM}$$

$$= \frac{0.9414 \times 0.08205 \times 303}{20 \times 157} = 0.00745 atm$$

$$P = 0.00745 \times 760 = 5.67\ mHg$$

ثالثا: الطريقة الدنياميكية

لقد صمم هنرى ريفولت سنه ١٨٤٥ طريقة دقيقة لقياس الضغوط البخارية المنخفضة تبنى على أن الضغط البخارى يتفق مع قانون دالتون للضغوط البخارية ، فإذا بخر سائل إلى غاز فإن ضغطة الجزئى عند الاتزان يساوى الضغط البخارى ، ونسبه ضغطه الجزئى (P_1) إلى الضغط الكلى (P) تكون هى نسبه عدد المولات من البخار (n_1) إلى العدد الكلى لمولات البخار والغاز.

$$\frac{P_1}{P} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

وعمليا فإن كميه معينة من الغاز عند ضغط معين عند مرورها فوق سائل ببطء تصبح مشبعة بالبخار عند درجة حرارة التجربة . وأن كميه البخار يمكن معرفتها من وزن السائل أو من الزيادة فى الوزن للمادة الممتصة .

مثــال ٢:

أحسب الضغط البخاري للزئبق إذا علمت أنه تم تبخير ٠.٥١٦ جم من الزئبق بإمرار هواء جاف عليها عند ضغط ٧٤٠ مم زئبق، ١٥٠°م وكان الحجم المشغول بالهواء ١٧.٤٥ لتر عند ضغط ٧١٦ مم زئبق ، ٢٥°م .

الحـل:

$$\therefore\ n = \frac{m}{M}$$

$$n_1\ (Hg) = \frac{0.516}{200.6} = 0.00257\ mole$$

ويمكن حساب عدد الجزئيات الجرامية من الهواء من معادلة القانون العام للغازات :

$$n_2(air) = \frac{Pv}{RT} = \frac{(716/760) \times 17.45}{0.082 \times 298} = 0.672 mole$$

ولحساب الضغط البخارى للزئبق عند ١٥٠ ^{o}م .

$$\frac{P_1}{P} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

$$\frac{P_1}{740} = \frac{0.00257}{0.00257 + 0.672}$$

$$P_1 = 2.819 \text{ mm Hg}$$

درجة الغليان: Boiling point

كما ذكر سابقا أن قيمة الضغط البخارى لسائل تزداد بزيادة درجة حرارته حتى يصل ضغطه البخارى إلى الضغط الجوى الخارجى فإننا سنرى أن السائل يغلى، وتعرف درجة غليان السائل بأنها درجة الحرارة التى يصبح عندها ضغط بخار السائل مساويا للضغط الجوى الخارجى على سطح ذلك السائل وبالتالى إذا كان الضغط الخارجى منخفض تنخفض تبعا لذلك درجة غليان السائل والعكس صحيح.

ودرجة غليان السائل لا تعتمد فقط على طبيعة السائل ولكن أيضا على الضغط الجوى الخارجى الواقع على السائل فى وقت قياس درجة الغليان . فنجد أن درجة غليان الماء على قمة الجبل تكون أقل منها عند سطح البحر ومن أهم درجات الغليان المعروفة هى درجة غليان الماء وهى عاده ١٠٠ ^{o}م وأقل السوائل شيوعا هو الأكسجين السائل حيث يغلى عند ١٨٣ ^{o}م . وتعرف درجة الحرارة التي يكون عندها الضغط البخاري للسائل مساويا ٧٦٠ مم زئبق (ضغط جوى واحد) بدرجة الغليان القياسية لهذا السائل .

درجة التجمد: Freezing point

من المعروف أن جزيئات السائل لها حركة سريعة وطاقة حركية عالية نسبيا وبالتالى تمنع التجاذب بين الجزئيات على تجمع هذه الجزئيات معا فى شكل بلورى . وإذا خفضنا درجة الحرارة أى سائل فأن طاقة حركة جزيئاته تقل تبعاً لذلك إلى أن تفقد الجزيئات القدرة على الحركة السريعة وتتغلب قوى التجاذب بين الجزئيات وتكون النتيجة هذه الجزئيات فى مكان ثابت وتأخذ شكل بلورى محدد. وتعرف درجة الحرارة التى يكون فيها كل من الحالة الصلبة والحالة السائلة للمادة فى حالة أتزان " بنقطة التجمد للسائل " Freezing point أو نقطة الانصهار " للمادة الصلبة " melting point .

فمثلا عند ضغط قدرة ١ جوى فإن نقطة الانصهار أو التجمد للماء تساوى صفر^{o} م (٣٢^{o}ف) وللهيدروجين ٢٥٩^{o} م، ووجود الشوائب تقلل من نقطة الانصهار حيث نجد أن الماء المحتوى على الملح يتجمد عند درجة حرارة أقل من الماء النقي، ونقطة الانصهار أو التجمد تستخدم لاختبار نقاؤه المادة.
وعند درجة التجمد يكون الضغط البخارى للحالة السائلة والحالة الصلبة للمادة متساوي، ويؤثر التغير فى الضغط الخارجى على الضغط البخارى للحالة السائلة والحالة الصلبة للمادة وبالتالى على درجة الحرارة عند الاتزان.
وتعرف درجة التجمد القياسية Normal Freezing point بأنها درجة الحرارة التى عندها يكون كل من الحالة السائلة والحالة الصلبة لهما نفس الضغط البخارى، ويكون الضغط الخارجى للمادة مساويا واحد ضغط جوى.

حرارة التبخر : Heat of vaporization

إن عمليه إمداد جزيئات السائل بقدر من الطاقة الحرارية يؤدى إلى اكتساب الجزئيات مزيدا من الطاقة الحركية ، وهذا يعمل على رفع درجة الحرارة ، لهذا ولا بقاء درجة الحرارة ثابتة فيجب تحويل ذلك الجزء من الجزئيات ذو الطاقة الحركية العالية إلى الحالة البخارية.

١- معادلة كلابيرون: The Clapeyron Equation

تطورت التفسيرات النظرية للعلاقة بين الضغط البخارى ودرجة الحرارة بواسطة العالم كلابيرون عام ١٨٣٤، ولكى نفسر هذه العلاقة فنأخذ سائل موجود فى حالة اتزان مع بخاره عند درجة الحرارة T وتحت ضغط مساو للضغط البخارى P فإذا بخر جزء من هذا السائل عند درجة حرارة وضغط الاتزان المذكورين فإنه كما هو معروف أن الطاقة الحرة للنظام بأكمله موجود فى حالة اتزان لا تتغير، أو بمعنى آخر يكون التغيير فى الطاقة الحرة لنظام ما عند الاتزان مساويا للصفر أى أن:

$$\Delta F = 0 \qquad (1)$$

حيث أن ΔF = هو التغيير فى الطاقة الحرة
وفى هذه الحالة إذا نقصت الطاقة الحرة للحالة السائلة نتيجة فقد جزء من الوزن (١جم سائل مثلا) يقابل ذلك زيادة فى الطاقة الحرة للحالة البخارية نتيجة لاكتساب جزء فى الوزن (١جم بخار) ويمكن تمثيل الطاقة الحرة لواحد جرام من السائل ب (F_1)، ولواحد جرام من البخار (F_2) وتحت هذه الظروف يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$F_1 = F_2 \qquad (2)$$

وإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى $T + dT$ يقابل ذلك زيادة فى الضغط ويصبح $P + dp$ ليظل النظام (الحالة السائلة والحالة البخارية) فى حالة اتزان . وتحت هذه الظروف فان الطاقة الحرة لواحد جرام من السائل تصبح $(F_1 + dF_1)$، ولواحد جرام من بخاره $(F_2 + dF_2)$ ولان التغير فى الطاقة الحرة لنظام ما عند الاتزان مساويا للصفر .

$$\therefore F_1 + dF_1 = F_2 + dF_2 \qquad (3)$$

بطرح المعادلة (2) من المعادلة (3):

$$\therefore dF_1 = dF_2 \qquad (4)$$

ومن قانون بقاء الطاقة نجد أن الطاقة الحرة تتغير بتغير الضغط ودرجة الحرارة، ويتوقف هذا التغير على حجم وانتروبى Entropy الحالة. ويمكن تعريف الانتروبى (S) ببساطة بأنه داله عدم انتظام النظام ويعبر عن هذا التغير فى الطاقة الحرة بالمعادلة التالية:

$$dF = vdp - SdR \qquad (5)$$

وبتطبيق هذه المعادلة على كل من السائل والبخار نحصل على المعادلتين الاثنين :

$$dF_1 = v_1dp_1 - S_1dT_1 \qquad (6)$$

$$dF_2 = v_2dp_2 - S_2dT_2 \qquad (7)$$

ونظرا لان النظام فى حالة اتزان لان الضغط ودرجة الحرارة متساويتين :

$$\therefore v_1dp - S_1dT = V_2dp - S_2dT \qquad (8)$$

أى أن :

$$-dp = \frac{S_2 - S_1}{V_2 - V_1} \qquad (9)$$

حيث dp : هو مقدار الزيادة فى الضغط البخارى عندما تزيد درجة الحرارة بمقدار dT .

S_2, S_1 : هما أنتروبى السائل والبخار على التوالى .

V_2 , V_1 : هما حجمى جرام من السائل والبخار على التوالى .

ومن المعروف أن التغير فى الانتروبى $(S_2 - S_1)$ يتساوى مع التغير فى حرارة البخر لواحد جرام (L) أى التغير فى كمية الحرارة اللازمة لبخر جرام واحد من السائل مقسوم على درجة الحرارة التى يحدث عندها ذلك :

$$(S_2 - S_1) = \frac{L}{T} \qquad (10)$$

فتصبح المعادلة (9) كالتالى :

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(v_2 - v_1)} \qquad (11)$$

وتفسير هذه المعادلة العلاقة بين معدل التغير فى الضغط البخارى لسائل مع درجة حرارته بدلاله حرارة البخر heat of vaporization (L) ويكون كل من الحجم وحرارة البخر مقاسه لنفس الوزن من المادة .
وفى حالة استخدام هذه المعادلة لا بد من استخدام الوحدات المناسبة، فيجب التعبير عن وحدات الحرارة بنفس وحدات الضغط والحجم، فإذا كان الضغط الجوي atm والحجم بالملليلتر فيمكن التعبير عن الحرارة بوحدات ملليلتر- جوى (١ سعر ٤١.٢٩ مل – جوى) وإذا كان الضغط بالداين فيعبر عن الحرارة بالأرج .

<u>مثــال٣:</u>

ما هو معدل التغير فى الضغط البخارى للماء عند ١٠٠ ^{o}م ، إذا كانت حرارة البخر للجرام من الماء ٥٣٩.٧ كالورى ، وحجم الماء للجرام الواحد ١.٠٤٣ مل بينما حجم بخار الماء = ١٦٧٧ مل، وذلك عند ضغط يساوى ١ جوى .

<u>الحــل:</u>

$$\frac{dp}{dT} = \frac{539.7 \times 41.29}{373(1677 - 1.043)} = 0.0356 \text{atm/degree}$$

$$\frac{dp}{dT} = 760 \times 0.0356 = 27.1 \text{mmHg/deg}$$

<u>٢- معادلة كلوزيوس – كلا بيرون:</u>

<u>The clausius – Clapeyron Equation</u>

حاول كلوزيوس أن يبسط معادلة كلابيرون بافتراض أن بخار السائل يعتبر غاز مثالى ويخضع لقوانين الغازات. وفى هذه الحالة يستبدل ١ جزئ بجرام

(mole) بدلا من ١ جرام لكل من السائل وبخاره. ويكون (L) هى حرارة البخر للجز بجرام molar heat of vaporization وهى تساوى (الوزن الجزئيين × حرارة البخر لجرام واحد) . بالإضافة إلى إمكان إهمال حجم السائل (v_1) نظراً لصغره بالنسبة لحجم بخاره بدرجة كبيرة . وعلية تصبح المعادلة (11) كالتالى:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{Tv} \qquad (12)$$

حيث أن V : هو حجم جزيجرام من البخار

ومن القانون العام للغازات PV = nRT

وبالتعويض عن الحجم فى المعادلة (12) نجد أن :

$$\frac{dp}{dT} = \frac{PL}{RT_2} \qquad (13)$$

- وبإجراء بعض العمليات الحسابية يمكن الوصول إلى المعادلة التالية :

$$LogP = \frac{L}{2.303P} + \frac{1}{T} + \frac{C}{2.303} \qquad (14)$$

حيث أن C هو ثابت التكامل .

والمعادلة (14) هى معادلة خط مستقيم وعند توقيع العلاقة بين لوغاريتم الضغط البخارى (log P) مقابل مقلوب درجات الحرارة المطلقة (1 / T) ويكون ميل هذا الخط يساوى القيمة L / R ويقطع المحور الرأس عند القيمة .

$$\frac{C}{2.303}$$

ويمكن بمعلومية الضغطيين البخاريين لسائل عند درجتي حرارة مختلفتين حساب حرارة البخر الجزيجرامية لسائل من المعادلة الآتية :

$$Log\frac{P_2}{P_1} = \frac{L}{2.303R} + (\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}) \qquad (15)$$

كما أنه يمكن بمعلوميه حرارة البخر الجزيجراميه والضغط البخارى عند درجة حرارة ما حساب الضغط البخارى عند درجة حرارة أخرى . كما نجد أن نشير هنا إلى أن العلاقة بين حرارة البخر الجزيجرامية وحرارة البخر تتضح إذا عرفنا ان حرارة البخر هى مقدار الحرارة اللازمة لبخر جرام من

السائل . وعليه فإن قيمتها هى القيمة التى نحصل عليها من قسمة حرارة البخر الجزيجراميه على الوزن الجزيئى M / L = 1 .

مثـال٤:

احسب الضغط البخارى للماء عند ١٢٠° م إذا كان الضغط البخارى عند ١٠٠° م يساوى واحد ضغط جوى والحرارة الكامنة للبخر ٩٧٢٠ سعر / جزيئى جرامى على مدى درجة الحرارة .

الحـل:

بتطبيق القيم المعطاة فى معادلة كلوزيوس – كلا بيرون :

$$\text{Log}\frac{P_2}{P_1}=\frac{L}{2.303R}+(\frac{T_2-T_1}{T_1T_2})$$

$$\text{Log}\frac{P_2}{1}=\frac{9720}{2.303\times1.987}\times\frac{393-373}{373-393}$$

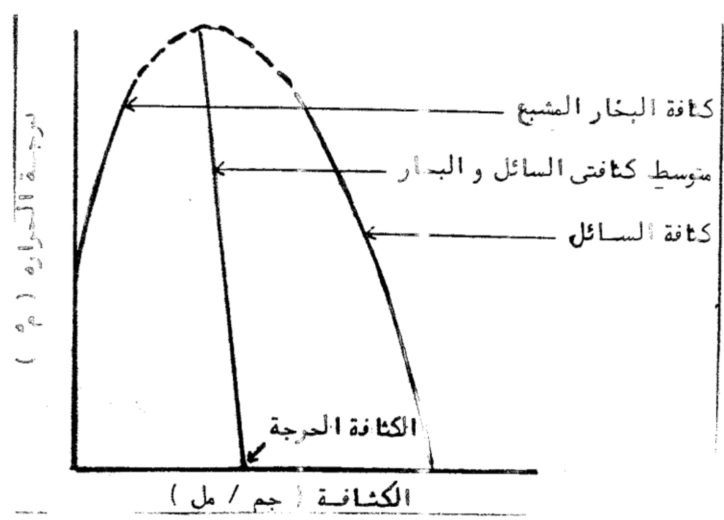
P_2 = 1.95 atm

∴ الضغط البخارى للماء عند درجة حرارة ١٢٠°م = ١.٩٥ ض ج

العلاقات الوضعية : Empirical Relationships

أ - الكثافة الحرجة : Critical density

بتوقيع العلاقة بين كثافة السائل وبخاره المشبع فى مقابل درجات الحرارة نحصل على منحنى كما هو موضح فى شكل (٣) .



شكل (٣) : العلاقة بين كثافتى السائل والبخار مقابل درجات الحرارة .

ونلاحظ من الشكل أن كثافة السائل تنخفض فى درجات الحرارة المرتفعة بينما تزيد كثافة البخار بارتفاع درجة الحرارة، لان ارتفاع الضغط البخارى مسئول عن زيادة كثافة البخار وتتقارب الكثافتان حتى تتساويان عند درجة الحرارة الحرجة لأى مادة من الحالتين السائلة والبخارية، وبتوقيع العلاقة بين متوسط الكثافة بيانيا فى مقابل درجات الحرارة المناظرة نحصل على خط مستقيم .

وتقاطع هذا الخط مع المحور الأفقى (محور الكثافة) يعطى الكثافة الحرجة وهى كثافة المادة (سائل أو بخار) عند درجة الحرارة الحرجة، وهناك صعوبة عالية فى تقدير قيمة الكثافة الحرجة.

وقد وضع كلا من العالمان Louis cailletet and Emil Marthias مثل هذه العلاقة الخطية فى معادلة رياضية كالتالى:

$$\frac{d_1 + dv}{2} = AT + B$$

d_l : كثافة السائل عند درجة حرارة معينة .

dv : البخار المشبع عند نفس درجة الحرارة .

A ، B ثابتان .

ب- درجة الحرارة الحرجة Critical temperature

سبق أن عرفنا نقطة الغليان القياسية بأنها درجة الحرارة التى يكون عندها الضغط البخاري للسائل مساويا ضغط جوى واحد، كما يمكن تعريف درجة

الحرارة الحرجة بأنها درجة الحرارة التى لا يمكن اسالة البخار فوقها مهما كان الضغط المستخدم. وتوجد علاقة بسيطة تربط بين كلا من درجة الغليان القياسية ودرجة الحرارة الحرجة وهى أن درجة الغليان القياسية فى كثير من الحالات تساوى ٠.٦ أى ثلثى درجة الحرارة الحرجة على أن نعبر عن درجات الحرارة بالدرجات المطلقة، وبهذه الطريقة يمكن أن نحصل على تقدير تقريبى لدرجة الحرارة الحرجة بمعرفتنا لدرجة غليان السائل كما يتضح من المعادلة التالية :

$$T_{Boil} = 2/3\ T_{Crit}$$

حيث أن :

T_{Boi} : درجة الغليان القياسية T_{Cril} : درجة الحرارة الحرجة

ج- قاعدة تروتون **Trouton's rule**

وضعها تروتون لتعيين حرارة البخر الجزيجرامية ومن ثم حرارة البخر لسائل بدرجة تقريبية وهذه القاعدة تنص على أن النسبة بين حرارة البخر الجزيجرامية إلى درجة الغليان المطلقة لسائل ما تكون نسبة ثابتة وتساوى ٢١

$$\frac{L}{T_{Boil}} = 21 \text{cal deg}^{-1} \text{mole}^{-1}$$

حيث أن :

L : حرارة البخر الجزيجرامية ويعبر عنها بالسعرات لكل جزيجرامى من السائل.

T_{Boil} : درجة الغليان القياسية .

مثـال ٥:

إذا كانت درجة غليان الهبتان العادى ٩٨ درجة مئوية، احسب بالتقريب: (أ) حرارة البخر (ب) درجة الحرارة الحرجة

علما بأن الوزن الجزيئى : ١٠٠

الحـل :

(أ)

$$\because \frac{L}{T_{Boil}} = 21$$

$$\therefore \quad L = T_{Boil} \times 21$$

$$L = (98 + 273) \times 21 = 7791 \text{ cal mole}^{-1}$$

$$1 = \frac{L}{M} = 77.9 \text{cal gm}^{-1}$$

(ب) $$\therefore T_{Boil} = 3/2\ T_{Crit}$$

$$\therefore\ T_{Crit} = 3/2\ T_{Boil}$$

$$\therefore\ T_{Crit} = 3/2 \times 271 = 556.5\ k$$

$$\therefore\ T_{Crit} = 556.5 - 273 = 283.5^{o}C$$

التوتر السطحى **Surface tension**

من المعروف أن الجزئ داخل السائل يكون معرضا لقوى تجاذب متجانسة من الجزئيات المتماثلة فى جميع الاتجاهات وهذه القوى يلاشى تأثير بعضها البعض، أما فى حالة الجزئ الموجود على سطح السائل فإنه سيكون معرضا لقوى التجاذب نحو داخل السائل فقط وبالمثل فان جميع جزئيات سطح السائل تكون معرضه لمثل هذا الجذب أو الشد إلى الداخل وبالتالى تكون شبه غشاء سطحى نتيجة لهذه القوى ويميل السطح فى هذه الحالة إلى أن يشغل أقل مساحة ممكنه وتعرف هذه القوى بقوى التوتر السطحي للسائل. ولهذا السبب نجد أن نقط أى سائل حينما تتساقط فإنها تأخذ أشكالا كروية لان مساحة سطح الكرة هو أصغر مساحة يمكن أن يشغلها أى حجم من السائل، وهذه الحقيقة تفسر عديد من الظواهر مثل أن شكل قطرات المطر كروى.

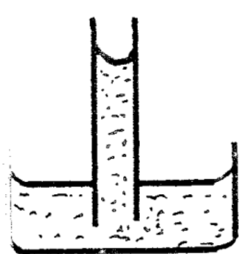
وعلى ذلك يمكن تعريف التوتر السطحي بأنه القوة على سطح السائل التى تقاوم حدوث زيادة فى مساحة هذا السطح ووحداتها داين/السنتيمتر.

وتنقسم قدرة السوائل على إحداث بلل للأسطح الصلبة إلى:

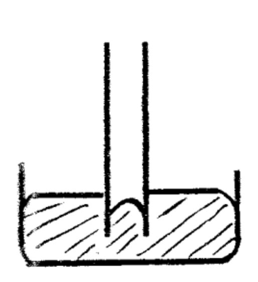
١ - سوائل مبللة للسطح الصلب: مثل الماء والكحول أى أن قوى التجاذب بين جزيئات السطح الصلب وجزيئات السائل أكبر من قوى التجاذب بين جزيئات السائل نفسه وينتج عن ذلك انتشار السائل فوق السطح الصلب فإذا غمسنا أنبوبة شعرية من الزجاج فى سائل مثال الماء فإننا نجد أن سطح الماء يرتفع فى الأنبوبة الشعرية أعلى من مستواه خارجها (شكل٤).

٢ - سوائل غير مبللة للسطح الصلب: مثل الزئبق أى أن قوى التجاذب بين جزيئات السائل أكبر بكثير من قوى التجاذب بين جزيئات السطح الصلب وجزيئات السائل وفى هذه الحالة يتحدب سطح السائل فى الأنبوبة ويؤدى التنافر بين سطح السائل والجدار عند منطقة التلامس إلى محاولة زيادة

المساحة السطحية المعروضة من السائل فيأخذ هذا السائل فى الهبوط فى الأنبوبة الشعرية إلى مدى يتوقف على ميل السائل فى مقاومة أى زيادة فى مساحة سطح .



ارتفاع الماء فى الأنبوبة الشعرية



انخفاض سطح الزئبق فى الأنبوبة

شكل (٤) : ارتفاع الماء وانخفاض الزئبق فى الأنابيب الشعرية

<u>وتوجد عدة طرق لقياس التوتر السطحى</u> :

١- طريقة الارتفاع الشعرى

٢ - طريقة القطرة

٣ - طريقة الضغط القصي للفقاعة

٤ - طريقة الميزان الالتوائي

وسوف نقوم بشرح أهم هذه الطرق وهى طريقة ارتفاع السوائل فى الأنابيب الشعرية .

<u>طريقة الارتفاع الشعرى</u>: Capilary-rise method

إذا غمس طرف أنبوبة شعرية من الزجاج له نصف قطر قدره (r) فى إناء به سائل كثافته (d) فأننا نجد أن سطح السائل يتأثر توتره السطحى وقابليته لأن يبلل جدار الأنبوبة فأنه يرتفع إلى أعلى ويستمر فى الارتفاع حتى تتساوى قوة التوتر السطحى (التى تجذب سطح السائل إلى أعلى) مع قوة الجاذبية الأرضية (التى تجذب سطح السائل إلى أسفل) وإذا افترضنا الارتفاع الذى يصل إليه السائل فى الأنبوبة الشعرية عند اتزان القوتين الرمز (h) .

∴ القوى الكلية الناشئة عن التوتر السطحى فى السطح المقعر للسائل هى :

$$2\pi r \cos\theta\, \sigma \qquad (1)$$

ولما كانت هذه القوة هى التى تدفع وتحمل عمود الماء فى الأنبوبة الشعرية فإنه عند الاتزان تكون القوة الكلية = وزن عمود الماء .

$$\pi r^2 hdg \qquad (٢)$$

من المعادلة (١) ، (٢) عند الاتزان يكون :

$$2\pi r \cos\theta\, \sigma = \pi r^2 hdg$$

$$\therefore\ \sigma = \frac{\pi\ r^2 hdg}{2\pi\, r \cos\theta}$$

∵ كثافة الماء = ١ ، وزاوية التماس للماء = صفر

∴ جتا صفر = ١

$$\therefore\ \sigma = 1/2\ r\ hdg$$

حيث أن :

r = نصف قطر الأنبوبة الشعرية بالـ cm

$\cos\theta$ = جتا زاوية التماس

σ = قوة التوتر السطحى بالداين/سم

d = كثافة السائل جم/سم٣

h = ارتفاع عمود السائل فى الأنبوبة الشعرية cm

g = عجلة الجاذبية الأرضية وهى ٩٨١ سم/ث٢

مثــال (٦):

يرتفع الأسيتون مسافة ٥.١٢سم فى أنبوبة شعرية نصف قطرها ٠.٠١١٧سم وكانت كثافة الأستيون ٠.٧٩جم/سم٣ . أحسب التوتر السطحى للأسيتون .

الحــل:

$$\therefore\ \sigma = 1/2\ r\ hdg$$

$$= 1/2 \times 0.0117 \times 5.12 \times 0.79 \times 981$$

$$= 23.2\ \text{dyne / cm}$$

العلاقة بين التوتر السطحى لسائل ودرجة الحرارة :

من الظواهر الثابتة أن التوتر السطحى لسائل يقل بارتفاع درجة الحرارة (جدول ٣) وإذا رسمنا العلاقة بين التوتر السطحى ودرجات الحرارة وجدنا أنه عند درجات الحرارة العادية تكون العلاقة خطية ثم يتحول الخط المستقيم إلى المنحنى عند درجات الحرارة العالية، ويلاحظ أنه عند درجة الحرارة الحرجة وعندما يصبح الحالة السائلة غير مميزة عن الحالة الغازية فأن التوتر السطحي يمكن إهماله.

جدول (٣) قيم التوتر السطحى لبعض السوائل (بالداين/سنتيمتر) عند درجات الحرارة المختلفة

درجة الحرارة المئوية	الماء	رابع كلوريد الكربون	البنزين	نيترو بنزين	كحول الأيثايل
صفر	٧٥.٦	٢٩	٣١.٦	٤٦.٦	٢٤
٢٥	٧١.٨	٢٦.١	٢٨.٢	٤٣.٢	٢١.٨
٥٠	٦٧.٩	٢٣.١	٢٥.٠	٤٠.٢	١٩.٨
٧٥	٦٣.٥	٢٠.٢	٢١.٩	٣٧.٣	-

اللزوجة: Viscosity

إذا سمح لسائل مثل الماء والزيت بالسريان خلال محتويان متماثلان ثم قورن بين معدل سريانهما يتضح وجود اختلاف كبير بين سرعة سريان كلا من السائلين ، ويظهر أن الزيت أبطء كثيراً من الماء ومعدل السريان يمكن تقديره بلزوجة السائل.

ويمكن تعريف اللزوجة بأنها المقاومة التي يظهرها السائل فى حالة سريان طبقة منه فوق أخرى، ومعامل اللزوجة يمكن تعريفه بأنه القوة على وحدة مساحات السطح اللازمة لجعل فارق يساوى الوحدة فى السرعة بين طبقتين متوازيين لسائل يفصلهما مسافة سنتيمتر واحد. وهذه القوة التى تلزم لكى تنزلق طبقة من سائل ما فوق طبقة أخرى منه موازية لها بسرعة معينة تتناسب طردياً مع مساحة السطح المتحرك من السائل وسرعته ولزوجة هذا السائل وتتناسب عكسياً مع المسافة التي تفصل بين الطبقات.

$$\text{القوة} = \frac{\text{السرعة} \times \text{المساحة} \times \text{اللزوجة}}{\text{المسافات بين الطبقات}}$$

$$\text{اللزوجة} = \frac{\text{القوة} \times \text{المسافة بين الطبقات}}{\text{السرعة} \times \text{المساحة}}$$

ويمكن معرفة وحدات اللزوجة بالتعويض:

$$\text{اللزوجة} = \frac{\text{داين/سم}}{\text{سم/ثانية}^{٢} \times \text{سم}^{٢}} = \frac{\text{داين} \times \text{ثانية}}{\text{سم}^{٢}}$$

$$= \frac{\text{جرام} \times \text{سم} \times \text{الثانية}}{\text{ثانية}^{٢} / \text{سم}^{٢}}$$

$$= \frac{\text{جرام}}{\text{ثانية} \times \text{سم}}$$

وعلـى هكـذا فكلمـا صـغر معامـل اللزوجـة كلمـا زاد سـريان السـائل والعكـس صـحيح، وتعتمد لزوجـة السـوائل علـى عـدة عوامـل أهمهـا قـوى التجـاذب بـين جزيئات السائل وشكل وكتلة وطبيعـة تكـوين الجـزئ فنجـد أن سـريان السـوائل التـى تتكـون من عدد كبير من الجزيئات تكـون منخفضـة عـن تلـك المتكونـة مـن عـدد صـغير، وتختلـف اللزوجـة بـاختلاف السـائل فنجـد أن الزيـوت والسـوائل الثقيلة القوام كالجلسرين لهـا معامل لزوجـة عـال والسـوائل العاديـة مثـل كحـول الإيثايل والبنزين والمـاء لهـا معامـل لزوجـة مـنخفض ويرمـز لمعامـل اللزوجـة لسائل ما بالحرف اللاتينى eta η، ووحدة قياس اللزوجة البـواز poise نسـبة إلـــى العـــالم poiseuille ونجـــد أن معامـــل اللزوجـــة للمـــاء عنـــد ٢٥°م = ٠.٠٠٨٩٥ بـواز . وقـام العـالم poiseuille بقيـاس اللزوجـة لسـائل بملاحظـة الوقت اللازم لسريان حجم معين من السائل خـلال أنبوبـة شـعرية قياسـيه تحـت ضـغط معلـوم، ويسـمى الجهـاز المسـتخدم لقيـاس اللزوجـة viscometer وقـد عبر عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$= \eta \quad \frac{\pi P r^4 t}{8vL}$$

حيث أن:

- π : النسبة التقريبية = ٣.١٤ .
- v : حجم السائل .
- η : لزوجه السائل .
- L : طول الأنبوبة الشعرية التى ينساب السائل خلالها .
- r : نصف قطر الأنبوبة الشعرية .
- t : الزمن اللازم لانسياب السائل .
- P : الضغط الهيدروستاتيكي الواقع على السائل بالداين /سم^2

$$\because P = hdg$$

حيث أن :

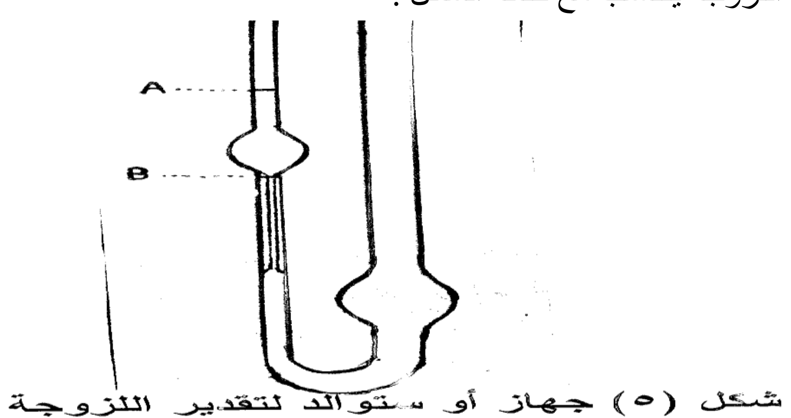
- H : هى ارتفاع السائل .
- D : كثافة السائل .

G : العجلة الأرضية .

- وبالتعويض فى المعادلة عن P

$$\therefore \eta = \frac{\pi r^4 hdgt}{8vL}$$

ولقد وجد أنه من الصعوبة قياس معامل اللزوجة المطلق لسائل بطريقة مباشرة كما أنها تحتاج إلى وقت طويل ، ولذلك يفضل قياس معامل اللزوجة لسائل ما بالنسبة لسائل أخر معروف معامل لزوجته كالماء مثلا . وأسهل طريقة لقياس معامل اللزوجة النسبية هى باستعمال جهاز أو ستوالد لقياس اللزوجة والمعروف باسم Ostwald viscometer . ويتم ذلك بقياس الزمن اللازم لسريان حجم معلوم من سائلين خلال نفس الأنبوبة الشعرية ويتكون الجهاز (شكل ٥) من أنبوبة على شكل حرف U أى أن لها طرفان ، يملأ الطرف الأوسع بحجم معين من السائل المعروف اللزوجة (سائل ١) ثم يسحب لأعلى فى الطرف الأخر حتى يصل أعلى من تدريج العلامة (A) ، ثم بعد ذلك يسمح له بالسريان ثانية إلى أسفل ويسجل الزمن اللازم لكى ينزل سطح السائل من (A) إلى العلامة (B) . ينظف الجهاز جيداً ويجفف وتكرر نفس التجربة باستخدام السائل مجهول اللزوجة والمراد تقديرها مع استخدام نفس الحجم (سائل ٢) وفى حالة استخدام نفس الجهاز ونفس الحجم من سوائل مختلفة فإن معامل اللزوجة يتناسب مع كثافة السائل .



شكل (٥) جهاز أوستوالد لتقدير اللزوجة

ويمكن الوصول إلى العلاقة التالية عند اختيار سائلين كثافتهما d_1 , d_2 ولزوجتها η_1 , η_2 والزمن اللازم لانسياب نفس الحجم منها t_1 , t_2 على التوالى ، ومن المعادلة السابقة نجد أن :

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{(\frac{\pi r^4 hg}{8vL})d_1 t_1}{(\frac{\pi r^4 hg}{8vL})d_2 t_2}$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2}$$

فإذا كانت لزوجة أحد السائلين معلومة يصبح من الممكن حساب لزوجة الأخر علماً بأن كثافة السائلين معروفة .

مثــال (٧)

ينساب حجم معين من الهبتان فى الأنبوبة الشعرية لجهاز أوستوالد فى زمن قدره ٦٤ ثانية عند ٢٠°م ، بينما ينساب الماء فى زمن ١٠٨ ثانية تحت نفس الظروف . إحسب لزوجة الهبتان إذا كانت كثافة الماء = ١ عند ٢٠°م وكثافة الهبتان ٠.٦٨٩ ولزوجة الماء = ٠.٠١ بواز .

الحــل:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2}$$

$$\frac{\eta_1}{0.01} = \frac{0.689 \times 64}{1.0 \times 108}$$

$$\eta_1 = 0.00412 \text{ poise}$$

الوحدة الخامسة: الكهربية

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- الطاقة الكهربية والعلاقات الرياضية فى الكهرباء.
- توصيل المقاومات على التوالي والتوازي.
- الملفات والمحولات والمكثفات الكهربية.
- نظم توزيع الكهرباء في المزرعة.
- اختيار مركز التوزيع واختيار الاسلاك

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- معرفة مفهوم الطاقة الكهربية وتأثيراتها
- معرفة الفرق بين توصيل المقاومات على التوالى والتوازى
- أهمية دراسة الكهرباء في الحياه العملية
- معرفة الملفات والمحولات والمكثفات الكهربية
- الالمام بأجهزة قياس الطاقة الكهربية والأساس العلمي لها
- نظم توزيع الكهرباء فى المزرعة.
- تطبيقات الكهرباء في المجال الزراعي

الوحدة الخامسة :الكهربية Electricity

الطاقة الكهربائية:

تلعب الطاقة الكهربائية دوراً كبيراً فى الإنتاج الزراعى وخصوصا فى الوحدات الثابتة من الآلات والأجهزة بالإضافة إلى تزويد المزرعة مما تحتاجه فى الإنارة والتحكم فى وحدات الإنتاج الحيوانى وغيرها

يمكن توليد الطاقة الكهربائية بعدة طرق أخرى منها الكيميائية مثل البطاريات أو عن طريق تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية وذلك بتحريك سلك موصل في مجال مغناطيسي كما في المولدات الكهربائية أو بتسخين مزدوج حراري كما في المزدوجة الحرارية.

- في البطاريات تكون الكهرباء المتولدة ذات تيار مستمر.
- في المولدات الكهربائية تكون الكهرباء المتولدة في الغالب ذات تيار متناوب ويمكن أن تكون الكهرباء ذات تيار مستمر.

الطاقة الكهربائية هي إحدى الصور المهمة للطاقات التي تستخدم في شتى المجالات والتي لا غنى عنها في حياتنا اليومية في الاستخدامات المنزلية كالإنارة والتدفئة وتشغيل الأجهزة الكهربائية المنزلية وكافة المجالات الأخرى مثل الصناعة والزراعة والاتصالات والمجالات العلمية.

طرق توليد الطاقة الكهربائية:

- محطات حرارية لتوليد الطاقة الكهربائية، حيث يتم فيها تسخين الماء وتحويله إلى بخار يستخدم في تدوير توربينات بخارية (ذات سرع عالية) تدور بدورها مكائن لتوليد الكهرباء وهي بقدرات مختلفة.
- محطات مائية لتوليد الطاقة الكهربائية، حيث تستخدم الطاقة الكامنة في المجمعات المائية (السدود والشلالات) في تدوير توربينات مائية (ذات سرعات منخفضة) تدور بدورها مكائن لتوليد الكهرباء وهي بقدرات مختلفة.

الطاقة الكهربائية المولدة بالمحطات السابقة هي ذات تيار متردد في أغلب الأحوال ويتم استخدامها فورا نظرا لارتفاع تكلفة تخزين الطاقة الكهربائية بكميات كبيرة.

- توليد الكهرباء باستخدام الألواح الشمسية الخلايا الشمسية (الكهرباء المولدة بهذه الطريقة هي ذات تيار مستمر) ويمكن تحويلها إلى تيار متردد وفي حالة عدم الاتصال بالشبكة الكهربائية يتم تخزين الطاقة المنتجة في بطاريات خاصة لحين الحاجة لها.

- محطات توليد الكهرباء باستخدام (الطاقة الشمسية المركزة - طاقة الرياح باستخدام طواحين هوائية كبيرة - طاقة المد والجزر وطاقة موج البحر)
- محطات صغيرة لتوليد الكهرباء والحرارة معاً حيث يتم استخدام هذه المحطات بشكل رئيسي في إنتاج الحرارة لغرض تسخين المياه والتدفئة مع إنتاج كمية صغيرة من الكهرباء حيث يتميز هذا النوع من المحطات بارتفاع كفاءتها.

تتلخص أنواع محطات التوليد فيما يلى:

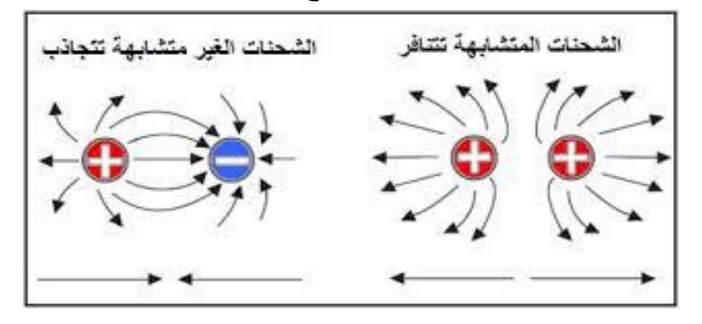
١- محطات التوليد البخارية
٢- محطات التوليد النووية
٣- محطات التوليد المائية
٤- محطات التوليد من المد والجزر
٥- محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل – غازية)
٦- محطات التوليد بواسطة الرياح
٧- محطات التوليد بالطاقة الشمسية

توجد البروتونات في نواة الذرة، والإلكترونات تدور حول النواة في مداراتها الخارجية متأثرة بقوى الجذب من النواة (الناتجة من التجاذب بين الإلكترونات السالبة الشحنة والبروتونات الموجبة الشحنة) وقوى الطرد (الناتجة عن دورانها السريع حول النواة) وهنا يجب أن تتساوى القوتان حتى تتزن الذرة، ولكن في وجود قوى شد خارجية (ذرات أخرى أو جهود موجبة) فإن الإلكترونات تترك النواه وتسير مكونة الكهرباء أو ما يسمى بالتيار الكهربائي.

المبادئ الاساسية في الدوائر الكهربية:

حركة الشحنات:

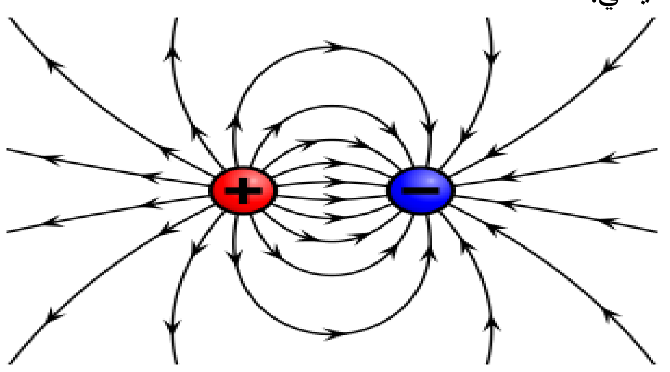
الأجسام المشحونة بشحنات مختلفة تنجذب نحو بعضها حيث إن الشحنات المختلفة تتجاذب والمتشابهة تتنافر حيث تدفع بعضها البعض بعيداً كما بالشكل.



الشحنة الكهربائية: Electrical Charge

هي خاصية فيزيائية مرتبطة بالمادة، والتي تجعلها تحت قوة عند وضعها في مجال كهرومغناطيسي، وهناك نوعان من الشحنات الكهربائية: شحنة موجبة محمولة على البروتونات وشحنة سالبة محمولة على الالكترونات حيث الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب، والمادة المشحونة بشحنة سالبة تمتلك كمية زائدة من الالكترونات على سطحها.

وحدة الشحنة الكهربائية هي الكولوم حسب النظام الدولي للوحدات ويعرف الكولوم بأنه مجموع الشحنات المارة خلال ثانية واحدة في سلك يجري فيه تيار مقداره امبير واحد، أو هو كمية الكهربية التي تمر عبر مقطع معين من الموصل في الثانية الواحدة عندما تكون شدة التيار الكهربائي واحد أمبير والشحنات الكهربائية تكون مجال كهربائي وإن كانت متحركة تكون مجالا مغناطيسيا، الجمع بين المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي يسمى المجال الكهرومغناطيسي.



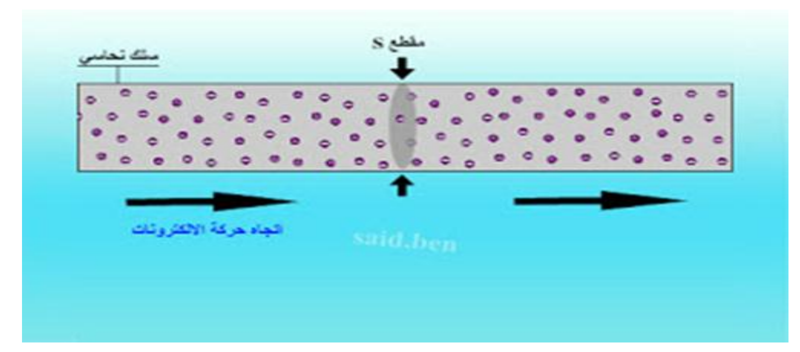
المجال الكهربي لشحنتين احداهما موجبة والاخرى سالبة

القوة الدافعة الكهربية: هي الشغل الكلى المبذول لنقل وحدة الشحنات في الدائرة الكهربية من إحدى النقطتين إلى الأخرى ويعبر عن فرق الجهد الكلى الصادر من المنبع للدائرة ككل بالقوة الدافعة الكهربية بمعنى ان القوة التى تسبب سريان الالكترونات فى أى دائرة مغلقة.

التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية:

كلمة تيار تعني شيء متحرك فالتيار الهوائي عبارة عن حركة جزيئات الهواء وأما التيار المائي فيعني حركة جزيئات الماء. ويعبر عن تدفق الشحنات الكهربائية عبر سلك ناقل حيث أن الشحنة الكهربائية قد تكون أيونات أو إلكترونات أو كليهما، ويمكننا التحكم في تدفّق الشحنة الكهربائية عن طريق مكوّنات الدائرة الكهربائية التي تمثل عقدة مغلقة تسمح بتنقل الشحنة من نقطة إلى

أخرى، فعند إضاءة المصباح الكهربائي على سبيل المثال فإن هذا يعني أن تياراً كهربائياً نتج عن انتقال الإلكترونات الحرة واندفاعها بسرعة هائلة داخل ذرات الأسلاك، ما جعل المصباح يضيء



التيار الكهربائي: هو حركة الالكترونات باتجاه واحد من القطب الموجب الى القطب السالب.

* في حالة الموصل الفلزي: التيار الكهربائي هو حركة الالكترونات باتجاه واحد.
* في حالة المحاليل: التيار الكهربائي هو نتيجة حركة الايونات الموجبة والايونات السالبة.

وحدة التيار الكهربي:

يقاس التيار الكهربائي تبعاً لنظام الوحدات الدولي بوحدة الأمبير أو(Amps) والتي يمكن تعريفها على أنها: تدفق الشحنة الكهربائية عبر سطح معين بمعدل واحد كولوم في الثانية، حيث إن قيمة كل أمبير تساوي تدفّق (٦.٢٤١×١٠^{18}) إلكترونات في الثانية، أو هو شدة التيار المار في دائرة كهربية عندما يكون معدل سريان الشحنة الكهربية خلال مقطع معين من الموصل واحد كولوم في الثانية، كما يتم قياس التيار الكهربائي عن طريق جهاز يسمى الأميتر.

شدة التيار Current Intensity

عبارة عن كمية الشحنة الكهربائية التي تمر عبر مقطع المادة الموصلة خلال وحدة زمن واحدة.

* كلما كانت شدة مرور الالكترونات في الموصل (عدد الالكترونات في الثانية) اكبر ازدادت شدة التيار.
* تتعلق شدة التيار بالمصدر (المزود الكهربائي/ البطارية) وايضا بمركبات الدائرة الكهربائية وطريقة توصيلها.

وحدة قياس شدة التيار الكهربائي هى الأمبير على اسم العالم الفرنسي اندريه أمبير في القرن التاسع عشر.

العلاقة بين شدة التيار وكمية الشحنة:

شدة التيار هي مقدار الشحنة (Q) بالكولوم المارة في موصل في ثانية واحدة (t) خلال مساحة معينة ويرمز لها بالرمز (A) ووحدة قياس شدة التيار هي الأمبير ويرمز له بالرمز (I)

$$i = \frac{Q}{t}$$

I: شدة التيار تقاس بوحدات امبير.

Q: كمية الشحنة تقاس بوحدات كولون.

t: المدة الزمنية تقاس بوحدات الثانية.

مثال : أوجد شدة التيار المار في موصل خلال 10ثوان إذا كانت كمية الشحنة الكهربية المارة خلال هذه الفترة ٢٠كولوم

$$i = \frac{20}{10} = 2\ A$$

العوامل التي تؤثر على شدة التيار فى الدائرة الكهربائية

المقاومة الكهربائية: مقاومة المادة لمرور الالكترونات في الموصل في كل ثانية، في الموصلات التي مقاومتها صغيرة يكون عدد الالكترونات التي تمر في كل ثانية أكبر ولذلك تكون شدة التيار أكبر، ويكون توصيل المادة عالياً عندما تكون المقاومة أصغر والعكس صحيح.

ويتأثر مدى مقاومة السلك الموصل لمرور الإلكترونات بعدة عوامل:

١. نوع المادة المصنوع منها السلك (المقاومة النوعية).

٢. طول السلك الموصل. ٣. مساحة مقطع السلك الموصل.

*كلما كان طول السلك أطول ----> المقاومة أكبر ----> شدة التيار أقل.

*كلما كانت مساحة مقطع السلك أكبر ---> المقاومة أقل ---> شدة التيار أكبر.

العلاقة بين العوامل التي تؤثر على مقاومة السلك الموصل هي:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

R= المقاومة. ρ = المقاومة النوعية للمادة،

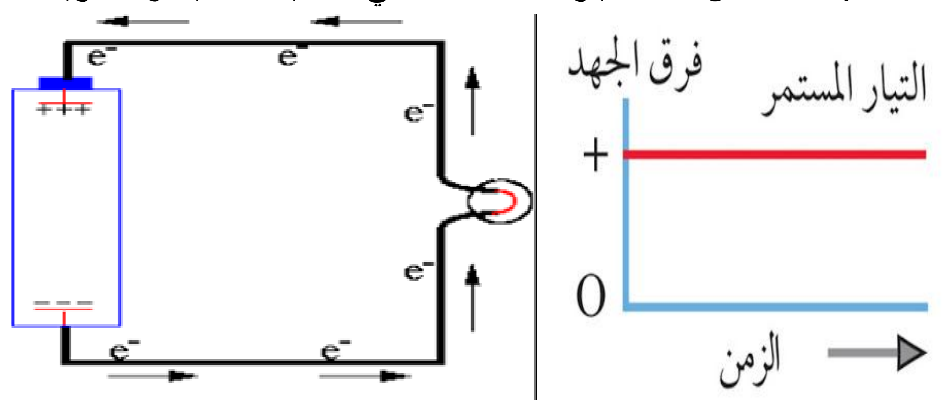
L= طول السلك. A= مساحة مقطع السلك.

انواع التيار الكهربي:

التيار المستمر Direct current

هو يعبر عن التيار الذي يسرى في اتجاه واحد فقط إما في الموجب أو في السالب حيث تنتقل الطاقة الكهربائية داخل الدائرة الكهربائية في اتجاه واحد، حيث تتدفق

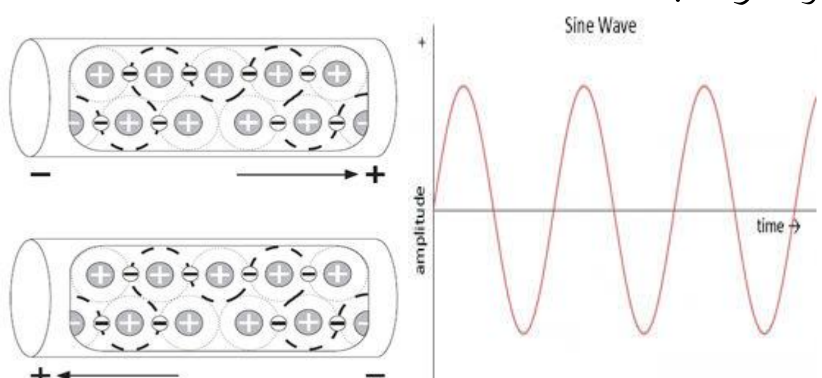
الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب ويظل اتجاه التيار ثابتاً مع ثبات الجهد والتيار مهما تغير الزمن، ويستخدم هذا النوع في التطبيقات ذات الجهد المنخفض، مثل التيارات المستخدمة في الخلايا الشمسية أوالبطاريات.



نلاحظ من الشكل السابق أن الطاقة الإلكترونية تنتقل في اتجاه واحد داخل أجزاء الدائرة الكهربائية، ويبقى هذا الاتجاه ثابتا مع ثبات الجهد والتيار الكهربائي من القطب السالب للدائرة إلى القطب الموجب مهما تغير الزمن.

التيار المتردد Alternative current

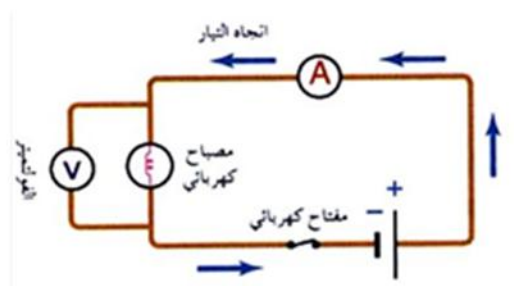
هو التيار الذي يحصل فيه تغير مستمر في القيمة مع الزمن ينتقل فيه من الموجب إلى السالب ولذا يسمى ايضا بالتيار المتناوب و يتغير اتجاه تدفّق الإلكترونات داخل الدائرة الكهربائية عدة مرات في الثانية بسبب تناوب القطبين السالب والموجب، ويستخدم هذا النوع عند توصيل المولدات الكهربائية الضخمة والمحركات.



فرق الجهد الكهربائي:

حتى يسري التيار الكهربائي في دائرة ما يجب أن يكون بين طرفي الدائرة فرق في الجهد الكهربائي بمعنى أن يحمل أحد طرفي الدائرة عدد كبير من

الإلكترونات بينما الطرف الآخر يكون لديه نقص في الإلكترونات، ونتيجة لتدفق الإلكترونات ينشأ التيار الكهربائي في الدائرة ويسمى فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربية بالجهد أو الضغط الكهربائي وهو الذي يسبب مرور التيار الكهربائي من إحدى النقطتين إلى النقطة الأخرى ويرمز له بالرمز(V) او الرمز (E)، كما يعرف الجهد بأنه الطاقة المبذولة لتحريك وحدة الشحنة ضد المجال بين نقطتين ووحدة الجهد هى الفولت (Volt) ويرمز له بالرمز (V). ويمكن تعريفه على أنه فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل قدرة واحد جول لنقل وحدة الشحنات الكهربية بين هاتين النقطتين.



القدرة الكهربية Electric Power (P)

هي معدل الطاقة الكهربية (الشغل الكهربائي) بالنسبة للزمن وهي حاصل ضرب الجهد في شدة التيار ووحدة قياس القدرة الكهربائية هى الوات (W)

$$P = \frac{W}{T} = I*V$$

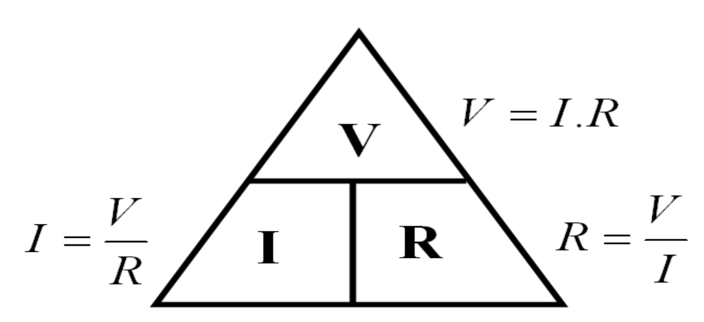
الشغل الكهربي:

الشغل الكهربي هو القدرة الكهربية مضروبة في زمن تأثيرها وبإيجاد الشغل الكهربائي يمكن حساب الطاقة الكهربية ويرمز للشغل الكهربي (W) ووحدة قياس الشغل الكهربي هى الجول ويرمز له بالرمز (J) ويساوى (الوات. ثانية)

قانون أوم Ohm's law

يعرف الأوم بأنه المقاومة الناشئة في دارة كهربائية عندما يحدث فرق جهد مقداره فولتاً واحداً تيارا شدته أمبيراً واحداً وقد أطلق اسم الأوم على هذه الوحدة تكريما للفيزيائي الألماني جورج أوم Gorge ohm

ويعتبر قانون أوم من أهم القوانين الكهربائية والذي ينص على أن التيار المار بين نقطتين عبر سلك ناقل يتناسب طردياً مع فرق الجهد الكهربائي بين طرفيه عند ثبوت درجة الحرارة، ويمكن تمثيل العلاقة رياضياً من خلال المعادلة الحسابيّة التالية $V = I \times R$



V: هو قياس فرق الجهد عبر موصل بوحدة فولت .

I: هو التيار من خلال موصل بوحدة أمبير :R .

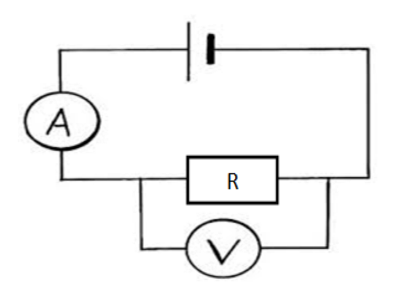
R: هي المقاومة للموصل بوحدة الأوم.

تجربة تحقيق قانون أوم

الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل التالى تمثل مقاومة متصلة مع مصدر كهربائي (بطارية) يقاس فرق الجهد على طرفي المقاومة من خلال فولتميتر V موصل على التوازي وشدة التيار تقاس بواسطة اميتر موصل على التوالي في الدائرة، وبدراسة العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار المار في المقاومة نجد أن العلاقة طردية بحيث أن:

$$V = R\,xI$$

وبهذا يتحقق قانون أوم.



دائرة تحقيق قانون اوم

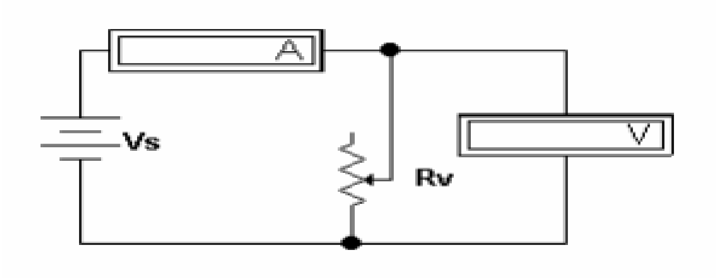
قام العالم أوم باجراء بعض التجارب علي الدائرة الكهربية المبسطة لايجاد العلاقة بين التيار المار في المقاومة والجهد الظاهر بين أطرافها وكذلك قيمة المقاومة نفسها وكانت خطوات التجربة كما يلي:

- توصيل مصدر جهد كهربائي Vs مع مقاومة متغيرة Rv .
- يوصل جهاز اميتر (A) بالتوالي مع المقاومة المتغيرة لقياس شدة التيار المار بالمقاومة.

• يوصل جهاز فولتميتر (V) بالتوازي مع المقاومة المتغيرة لقياس فرق الجهد الظاهر على طرفيها.
• تغير قيمة المقاومة R من الصفر حتى القيمة القصوى لها وتسجل في كل مرة قيم التيار المار والمقاومة الماخوذة.

نتيجة التجربة:

١- جهد مصدر التغذية Vs يساوي الجهد الظاهر علي أطراف المقاومة Rv.
٢- عند ثبوت فرق الجهد على اطراف المقاومة وجد أن شدة التيار I تتناسب عكسيا مع قيمة المقاومة.



دائرة أوم لدراسة العلاقة بين شدة التيار وقيمة المقاومة

ويمكن صياغة هذه النتيجة بالصيغة الرياضية التالية :

$$I = V / R ......(A)$$

حيث: I هو شدة التيار المار في المقاومة ، V هو فرق الجهد المطبق على طرفي المقاومة R .

والمعادلة (A) اعلاه تمثل **الصيغة الرياضية لقانون اوم** ، وهي توضح أن شدة التيار المار بالمقاومة يمكن حسابه من حاصل قسمة الجهد المطبق على طرفي المقاومة على قيمة المقاومة نفسها. ونستنتج من ذلك أنه عند ثبوت فرق الجهد على أطراف المقاومة نجد أن التيار I يتناسب عكسيامع قيمة المقاومة.

ومن المعادلة (A) يمكن استنتاج المعادلة التالية :

$$V = I \times R ....(B)$$

وأيضا يمكن استنتاج المعادلة التالية :

$$R = V / I ....(C)$$

المعادلتين B,C هما صيغ أو صور أخرى لقانون أوم والتي تستخدم لإيجاد الفولتية والمقاومة.

مثال ١ : عند قياس قيمة هبوط الجهد على مقاومة قيمتها 100Ω وجد أن قيمة الجهد 50V ، ما هي قيمة التيار المار في المقاومة؟

الحل: بتطبيق صيغة اوم كما في المعادلة (A) $I = \frac{V}{R}$

$= \frac{50}{100}$ = 50 A

مثال ٢ : قيمة هبوط الجهد على مقاومة 150mV عند قياس التيار وجد ان قيمته 75µA، ما هي قيمة المقاومة؟

الحل: بتطبيق المعادلة الأتية

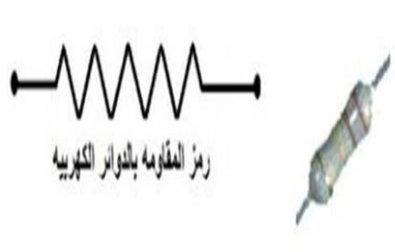
$$R = \frac{V}{I} = \frac{150\times10^{-3}}{75\times10^{-6}} = 2\times10^{3}\ \Omega = 2K\Omega$$

مثال : ما هي قيمة جهد المصدر في دائرة كهربائية قيمة المقاومة 27KΩ والتيار المار فيها 3mA؟

الحل: $V = I \times R = 3 \times 10^{-3} \times 27 \times 10^{3} = 81V$

المقاومة: Resistance

جميع المواد لها مقاومة كهربية وهي تعنى درجة معاكسة مرور التيار الكهربائي في المادة بدرجات متفاوتة ويرمز لها بالرمز R ويطلق عليها المقاومة المادية. ووحدة قياس المقاومة هي الأوم R(Ohm) ويرمز لها بالرمز (Ω).





وتعتبر المقاومة من أهم عناصر الدائرة الكهربية حيث يتم عن طريقها التحكم في التيار والجهد في الدائرة، وللمقاومة عدة مواصفات مثل القيمة والقدرة (power) والشكل وهل هي ثابتة أم متغيرة ومادة الصنع ونسبة التفاوت.

يرمز للمقاومة بالرمز(R) وتقاس المقاومة بجهاز الأوميتر ووحدة قياسها هي الأوم ويرمز له " **Ω** "

وتوصف المقاومة الكهربية بقيمتها وكذلك بقدرتها الكهربية فمثلا يقال المقاومة ١٠٠ أوم (2W) وهذا يعنى أن قيمة المقاوم ١٠٠**Ω** تتحمل قدرة كهربية قدرها ٢ وات وهذا اقصى تيار تتحملة المقاومة حتى لا تتلف.

ويوجد على سطح المقاومة ألوان تمكن المستخدم من معرفة قيمتها وكذلك دقتها أو نسبة التفاوت فيها. ويمكن قراءة قيمة المقاومة من تعلم كود الألوان، ويوضح الجدول التالى خواص المقاومة الكهربائية

الخاصية	الوصف
المقاومة (Resistance)	يعبر عن القيمة المطلوبة بالأوم أو الكيلو أوم أو الميجا أوم (MΩ)
القدرة (power)	هي القدرة القصوى التي تبددها المقاومة $P = I * V = I^2 * \mathrm{R} = \frac{v2}{R}$
التفاوت (Tolerance)	هو الانحراف الأقصى المسموح به عن القيمة المقروءة (يعبر عنه كنسبة مئوية من قيمة المقاومة %) ويكون بالزيادة أو النقصان

العوامل التي تتوقف عليها المقاومة الكهربية لموصل عند ثبوت درجة الحرارة

١-طول الموصل (L) ويقاس بالمتر ويتناسب طردى

٢-مساحة مقطع الموصل(A) ويقاس بالمتر المربع والتناسب عكسى

٣-نوع مادته، ويؤثر في المقاومة النوعية ويرمز لها بالرمز(ρ) والمقاومة النوعية للمادة هي مقاومة موصل من هذه المادة طوله ام ومساحة مقطعه ام^2 عند درجة حرارة معينة وتقاس بوحدة (أوم.م) وتتناسب مع المقاومة طرديا وتحسب المقاومة الكهربية من المعادلة

$$R = \rho \frac{L}{A} \ \ \mathbf{\Omega}$$

التوصيلية الكهربية للمادة:

هي قابلية المادة للتوصيل الكهربائي وهي مقلوب المقاومة النوعية ويرمز لها بالرمز(σ) ووحدتها سيمنز(S)

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

مثال: أحسب المقاومة النوعية لسلك طوله ١م، مساحة مقطعه ام^2 ومقاومته ٧ أوم

$$7\ \mathbf{\Omega}.\mathrm{m}.=..\rho = 7 * \frac{1}{1}.......R = \rho \frac{L}{A}$$

أنواع المقاومات:

تتعدد أنواع المقاومات الكهربائية حسب المادة المصنوعة منها وطريقة استخدامها، ومنها :

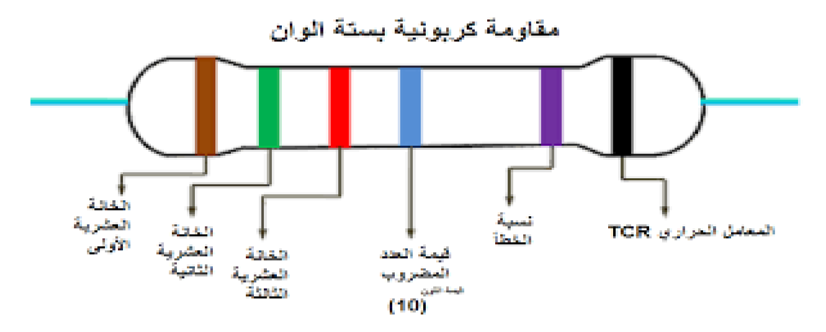
المقاومة السلكية Wire wound Resistor

عبارة عن سلك طويل عادة من النيكل كروم ويلف على قالب من السيراميك وتكون أكثر استقرارا وأكثر دقة من المقاومة الكربونية ومنها ما ثابتة ومتغيرة



المقاومة الكربونيةCarbon Resistor

عبارة عن قضيب من السيراميك يرسب علية مسحوق من الكربون وكلما زادت كمية الكربون كلما قلت قيمة المقاومة ويفضل استخدامها لأنها أصغر في الحجم وتكلفة صناعتها قليلة ودائما تكون مقاومات ثابتة

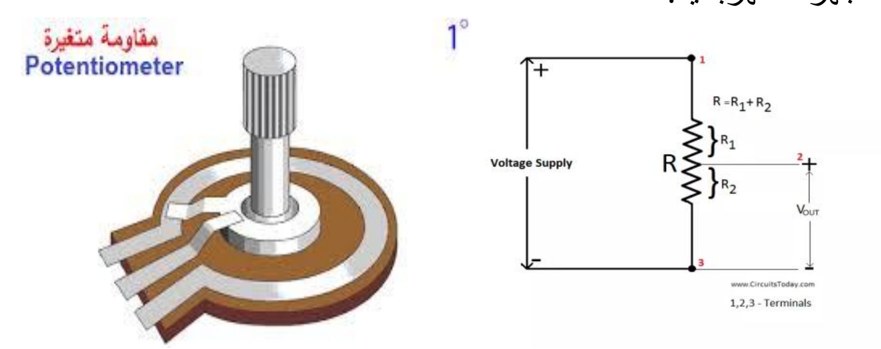


المقاومة المتغيرة Variable resistors

تُعد المقاومة المتغيرة أحد أنواع المقاومات التي تتحكم بتغير تدفق التيار من خلال تقديم مجموعة مختلفة من القيم، فكلّما ازدادت قيمة المقاومة تَنقص قيمة التيار المتدفق عبر الدائرة والعكس صحيح.

يمكن للمقاومات المتغيّرة التحكم بالجهد في الدائرات الالكترونية، لذلك تكون هذه المقاومات مفيدة في التطبيقات التي تتطلب التحكم بالجهد أو التيار. حيث تستخدم للحصول على قيمة متغيرة من المقاومة وهذه المقاومات تسمى Potentiometers (مجزئ الجهد) وهي تكون جزء من اللفة أو لفة كاملة أو عدة لفات من سلك المقاومة وأكثرها شيوعا هي مجزئات الجهد ذات المسارات

الكربونية وذات الأسلاك الملفوفة. وعمليا المقاومة المتغيرة هي مقاومة ذات ثلاث أطراف وتعمل كمجزئ للجهد، وفي حالة استخدام طرفين اثنين منهم (حيث يوصل الطرف الأوسط بأحد الطرفين)، أحدهما ثابت والأخر منزلق متحرك، فهو يعمل كمقاومة متغيرة أو ريوستات. وتستعمل المقاومة المتغيرة كثيرا في الأجهزة الكهربائية.



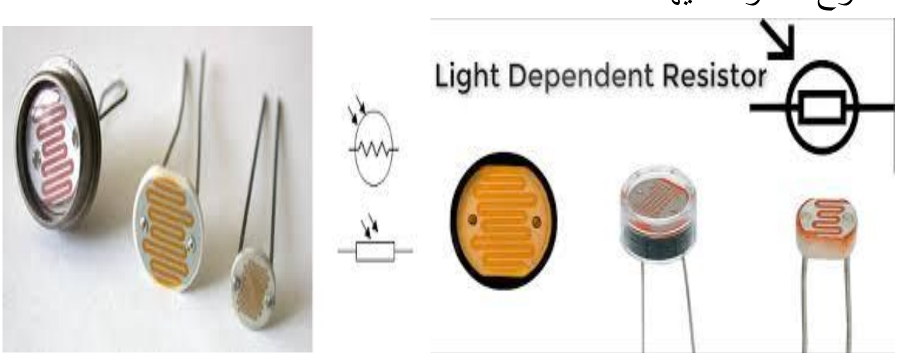
المقاومة الحرارية Thermostat

هي المقاومة التي تتغير قيمتها بتغير درجة الحرارة عليها، ومن أشهر أنواعها المقاومة الحرارية السالبة، أما كلمة مقاومة سالبة فنقصد أنها مع زيادة حرارتها تقل قيمتها.



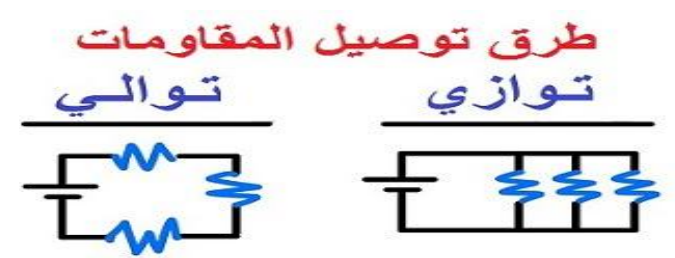
المقاومة الضوئية: Photo resistor

تصنع من مادة حساسة للضوء وهي مقاومة كهربائية تقل مقاومتها عند شدة سطوع الضوء عليها



توصيل المقاومات في الدائرة الكهربية:

توصل المقاومات في الدائرة الكهربية بعدة طرق منها توصيل على التوالي أو توصيل على التوازي أو توصيل مركب (توصيل توالى مع توصيل توازى في دائرة واحدة)

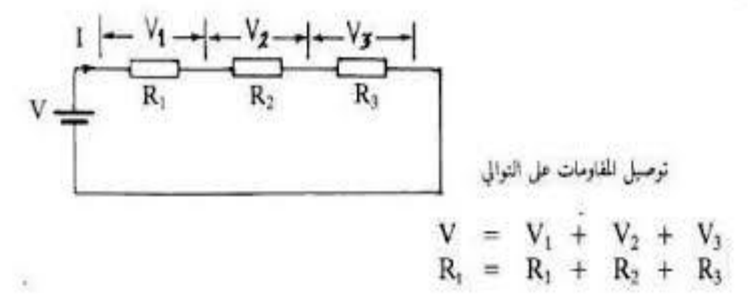


التوصيل على التوالي: Series Connection

يتم توصيل المقاومات على التوالي في الدائرة الكهربية لزيادة المقاومة الكلية ولزيادة تحمل الدائرة للجهد وفى هذه الحالة يمر نفس التيار في جميع المقاومات في الدائرة بنفس القيمة بينما يتم تقسيم الجهد على المقاومات وتتناسب قيمة الجهد الواقع على المقاومة تناسبا طرديا مع قيمتها فكلما ارتفعت قيمة المقاومة زاد الجهد الواقع عليها في الدائرة (طبقا لقانون أوم) أي في حالة التوصيل على التوالي يكون التيار ثابتا بينما يتم توزيع الجهد على المقاومات على حسب قيمتها. لتوصيل ثلاث مقاومات على التوالي كمثال، يتم توصيل نهاية المقاومة الأولى ببداية المقاومة الثانية ونهاية المقاومة الثانية ببداية الثالثة، وفى هذه الحالة يتم حساب المقاومة الكلية للدائرة وهي تساوى المجموع الجبري للمقاومات الثلاث

$$RT = R1 + R2 + R3$$

تمثل قيمة المقاومة الكلية بالأوم RT حيث



وتكون قيمة شدة التيار المار في الدائرة ثابتة لجميع المقاومات وتساوى قيمة الجهد الكلى للدائرة مقسوما على المقاومة الكلية:

$$I = \frac{V}{Rt}$$

وفى هذه الحالة يتوزع الجهد الكلى للمصدر على المقاومات ويكون فقد الجهد على كل مقاومة متناسبا طرديا مع قيمة المقاومة

$$\boldsymbol{V1} = \boldsymbol{I} * \boldsymbol{R1}$$

$$\boldsymbol{V2} = \boldsymbol{I} * \boldsymbol{R2}$$

$$\boldsymbol{V3} = \boldsymbol{I} * \boldsymbol{R3}$$

وفى هذه الحالة يكون المجموع الجبري لجهود للمقاومات يساوى جهد المصدر

$$\mathbf{V} = \mathbf{V1} + \mathbf{V2} + \mathbf{V3}$$

خواص توصيل المقاومات على التوالي

أولا: التيار

يكون متساويا في جميع أجزاء الدائرة

$$\mathbf{I}T = \mathbf{I} = \mathbf{I1} = \mathbf{I2} = \mathbf{I3}$$

ثانيا: الجهد

يتجزأ على المقاومات حسب قيمتها، الجهد الكلى: يساوى مجموع الجهود الجزئية (الفرعية)

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{V}\mathbf{T} = \boldsymbol{V1} + \boldsymbol{V2} + \boldsymbol{V3}$$

ثالثا: المقاومة

تساوى مجموع المقاومات الموصلة على التوالي

$$\boldsymbol{R}\mathbf{T} = \boldsymbol{R1} + \boldsymbol{R2} + \boldsymbol{R3}$$

التوصيل على التوازي: Parallel Connection

توصل المقاومات على التوازي في الدائرة الكهربية لتقليل قيمة المقاومة الكلية في الدائرة وفى هذه الحالة يكون الجهد الواقع على جميع المقاومات ثابتا بينما يتم تقسيم التيار على المقاومات وتتناسب قيمة التيار عكسيا مع قيمة المقاومة المار فيها. فكلما ارتفعت قيمة المقاومة أنخفض التيار المار فيها ، اى فى حالة التوصيل على التوازي يكون الجهد ثابتا بينما يتم توزيع التيار على المقاومات على حسب قيمتها، ولتوصيل ثلاث مقاومات على التوازي توصل كل البدايات مع بعضها البعض في طرف واحد وتوصل كل النهايات فى طرف واحد، أي تتعدد مسارات التيار وتقع كل المقاومات تحت نفس الجهد وتحسب المقاومة الكلية للدائرة من القانون:

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \cdots + \frac{1}{Rn}$$

Rt: تمثل قيمة المقاومة الكلية بالأوم

ويتوزع التيار الكلى للدائرة على المقاومات بنسب عكسية مع قيمة كل مقاومة فالتيار المار في المقاومة يتناسب عكسيا مع قيمة المقاومة

$$I1 = \frac{V}{R1}، \quad I2 = \frac{V}{R2} \quad I3 = \frac{V}{R3}،$$

وتكون قيمة الجهد على المقاومات ثابتة وتساوى قيمة الجهد الكلى للدائرة، بينما يكون التيار الكلى في الدائرة عبارة عن مجموع التيارات المختلفة في الدائرة

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{IT} = \boldsymbol{I1} + \boldsymbol{I2} + \boldsymbol{I3}$$

خواص توصيل المقاومات على التوازي

أولا: يتجزأ التيار على المقاومات حسب قيمتها، فالتيار الكلى يساوى مجموع التيارات الفرعية

$$\boldsymbol{IT} = \mathbf{I1} + \mathbf{I2} + \mathbf{I3} + \cdots$$

ثانيا: الجهد يكون ثابتا على جميع المقاومات

$$\boldsymbol{V} = \mathbf{VT} = \mathbf{V1} = \mathbf{V2} = \mathbf{V}3$$

ثالثا: المقاومة

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \cdots + \frac{1}{Rn}$$

$$\mathrm{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \cdots + \frac{1}{Rn}$$

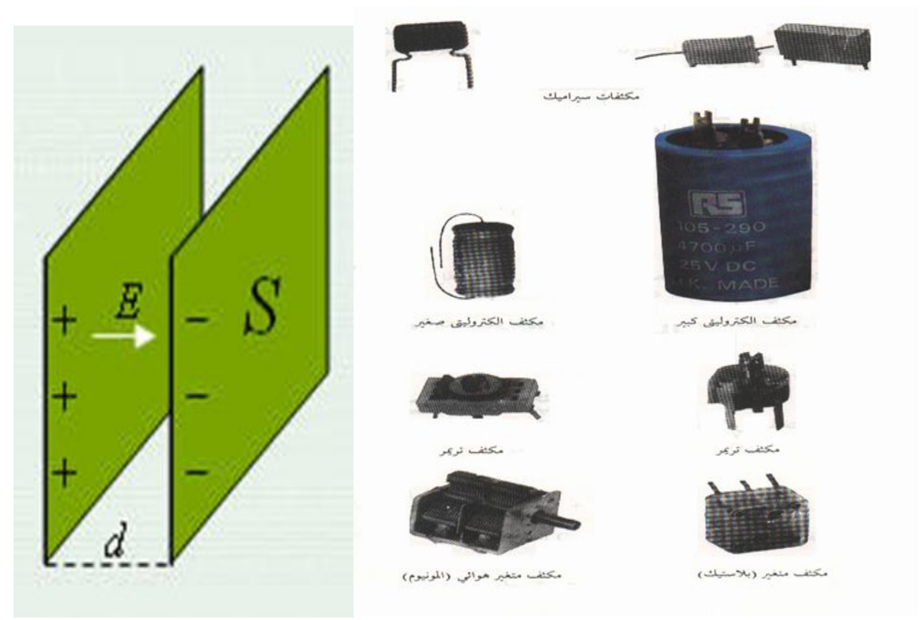
وفي حالة مقاومتان فقط موصلة على التوازي

$$Rt = \frac{1R1 * R2}{R1 + R2}$$

المكثفات:

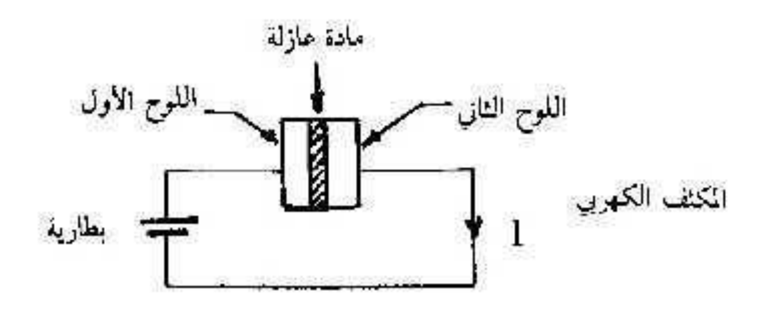
لاحظ عند انقطاع التيار الكهربائي عن أحد الأجهزة الكهربائية كجهاز الحاسب الآلي أو الراديو أو المصباح ، فإن المصباح الذي يدل على مرور الذي يدل على مرور التيار أو عدم مروره لاينطفىء مباشرة بمجرد انقطاع التيار وانما ينطفىء تدريجيا ، هل تساءلت عن سبب حدوث ذلك؟

هذا يدل على أن هناك طاقة كهربائية مخزونة في الجهاز وأنه يتم إمداد الجهاز بهذه الطاقة لفترة من الزمن بعد انقطاع التيار الكهربائي .



أنواع المكثفات باختلاف المواد العازلة:

يتكون المكثف الكهربي من لوحين من مادة موصلة بينهما مادة عازلة كما هو مبين في الشكل التالي، ويتحدد نوع المكثف على حسب المادة العازلة المستخدمة في صناعته، فإذا كانت المادة العازلة الموجودة بين لوحي المكثف هي الهواء فيطلق على المكثف في هذه الحالة اسم المكثف الهوائي، وإذا كانت مصنوعة من مادة البلاستيك سمي مكثف بلاستيك، وإذا كانت المادة العازلة من الميكا أطلق على المكثف اسم مكثف ميكا وإذا كانت المادة العازلة من السيراميك أطلق على المكثف اسم المكثف السيراميك، أما إذا استخدم محلول كيماوي كمادة عازلة بين لوحي المكثف أطلق على المكثف اسم المكثف الكيماوي أو الالكترولتي.



المكثف هو العنصر المسؤول عن تخزين الطاقة الكهربائية في الدائرة ويتكون من لوحين من مادة موصلة معزولين عن بعضهما بعضا.

تعرف سعة المكثف بانها النسبة بين الشحنة المخزنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما ويرمز لها بالرمز C اى انها قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربية بالسعة الكهربية أو السعة ووحدة قياسها الفاراد، وتحسب قيمة سعة المكثف كالآتي:

$$C = Q / V$$

حيث :

Q: مقدار الشحنة على لوح المكثف V: فرق الجهد بين طرفي المكثف

$$\text{سعة المكثف (C) بالفاراد} = \frac{\text{الشحنة المخزونة في المكثف Q بالكولوم}}{\text{فرق الجهد بين اللوحين للمكثف V بالفولت}}$$

العوامل المؤثرة على سعة المكثف:

يوجد ثلاثة عوامل أساسية تؤثر على سعة المكثف بصورة مباشرة وهي:

أ- المساحة السطحية لألواح المكثف (a):

إن سعة المكثف تتناسب طرديا مع المساحة السطحية للألواح، فإذا زادت مساحة سطح اللوح زادت سعة المكثف وذلك لزيادة استيعابه للشحنات الكهربائية، وبالعكس تقل سعة المكثف كلما قلت هذه المساحة.

ب- المسافة بين الألواح (d):

تقل السعة عندما تزداد المسافة بين الألواح وتزداد كلما قلت تلك المسافة أي أنه يوجد تناسب عكسي بين سعة المكثف والمساحة بين ألواحه.

ج- الوسط العازل (المادة العازلة) ε:

تتغير سعة المكثف بتغير المادة العازلة بين الألواح ويعتبر الهواء الوحدة الأساسية لمقارنة قابلية عزل المواد الأخرى المستعملة في صناعة المكثفات.

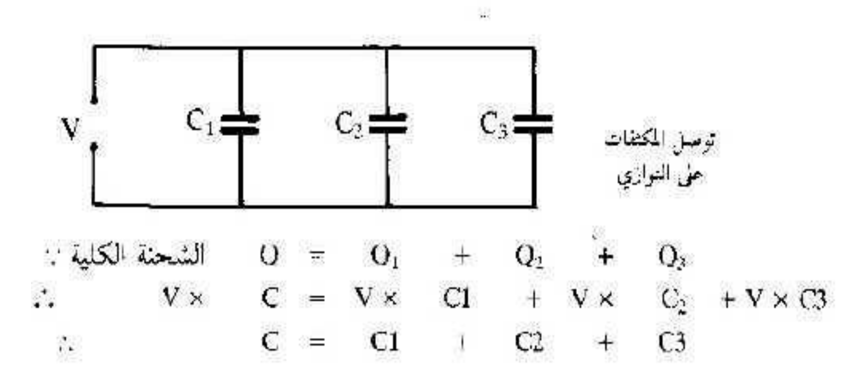
يوجد لكل مادة ثابت عزل يطلق عليه ابسلونε

مما سبق نجد أن سعة المكثف بدلالة المساحة السطحية للألواح (a) والمساحة بين الألواح d وثابت العزل للمادة العازلةε يكون:

$$C = \epsilon \frac{a}{d}$$

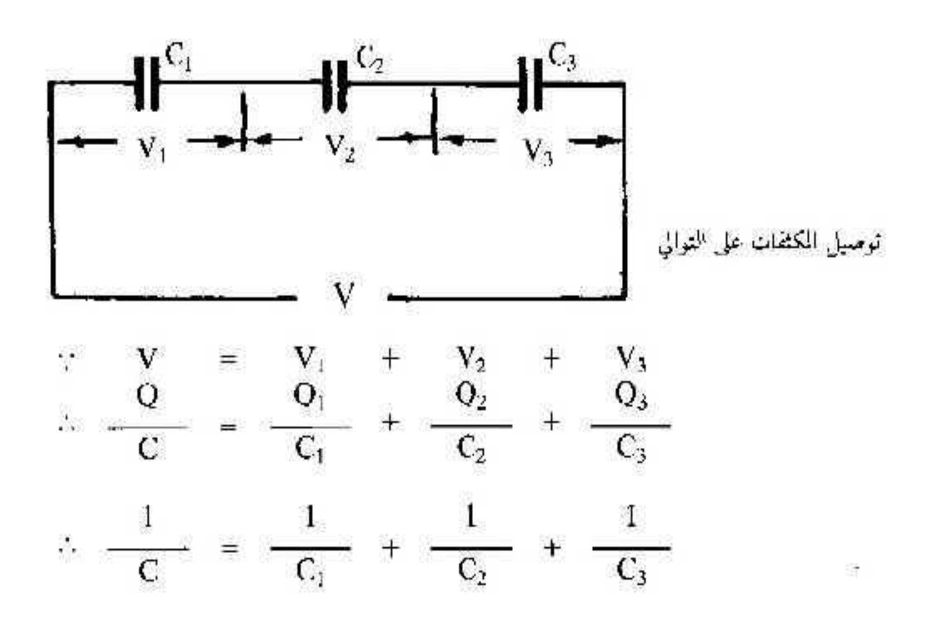
توصيل المكثفات على التوازي:

توصل المكثفات على التوازي للحصول على سعة كلية كبيرة تساوي مجموع سعة المكثفات المتصلة على التوازي في الدائرة.



توصيل المكثفات على التوالي:

توصل المكثفات على التوالي للحصول على سعة كلية صغيرة أقل من أصغر سعة مكثف موجودة في الدائرة.



في حالة مكثفين على التوالي فإن السعة الكلية C تساوي

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

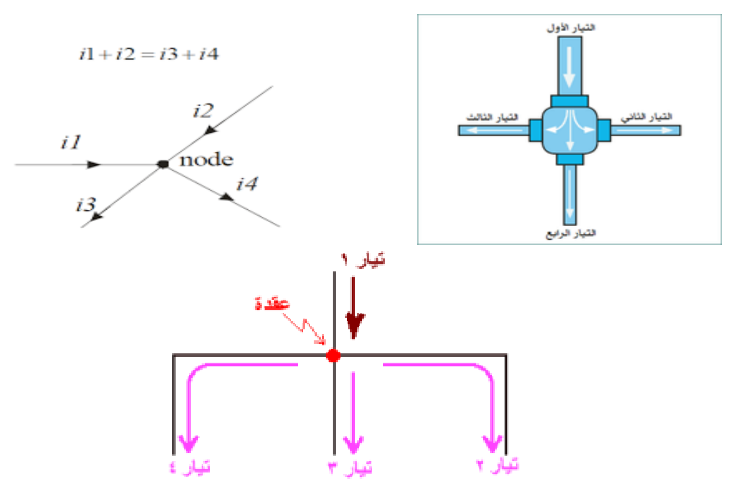
قوانين دوائر التيار المستمر

تستخدم قوانين كيروشوف لتحديد المقاومة المكافئة لشبكة معقدة والتيار المار فى الموصلات المختلفة.

قانون كيرشوف للتيار Kirchhoff Current Law

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات القادمة إلى عقدة معينة" "node" يساوى مجموع التيارات الخارجة من نفس العقد.(المجموع الجبرى للتيارات عند أى وصلة من الشبكة يساوى صفر)

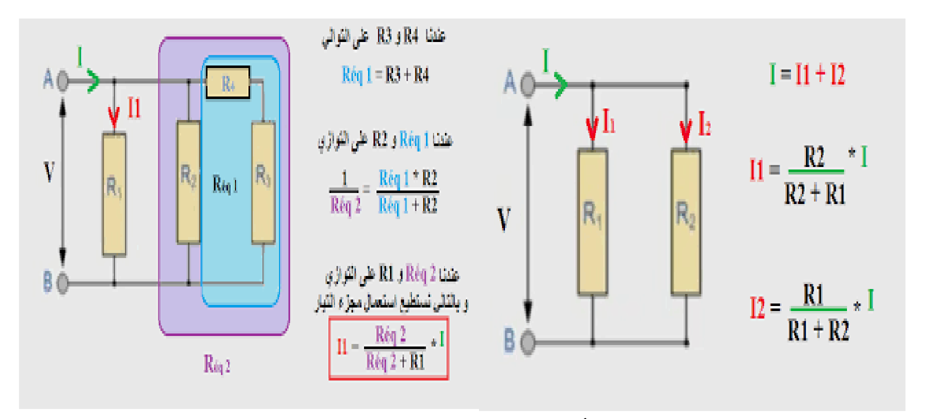
$$I1=I2+I3+14$$



حيث I هو شدة التيار الكهربائي ويقاس بوحدة تسمى بالأمبير

مجزئ التيار: Current Divider

مجزئ التيار هو قانون يستخدم في الدوائر الكهربائية البسيطة لمعرفة شدة التيار المارة في أحد الأفرع بدائرة كهربية الناتج من تجزئ التيار الكلي، وهو قانون مشتق من قانون كيرشوف للتيار، الشكل التالي يوضح مثالا لمجزئ التيار



I: شدة التيار الكلية ويقاس بالأمبير

I1: هو شدة التيار الكهربائي المار في الفرع الموجود به المقاومة R1 ويقاس بالأمبير

I2: هو شدة التيار الكهربائي المار في الفرع الموجود به المقاومة R2 ويقاس بالأمبير

قانون كيرشوف للجهد Kirchhoff Voltage Law

ينص قانون كيرشوف للجهد على أن مجموع قوى الدفع الكهربائية (جهد المصدر) تساوي مجموع الجهود المفقودة في مسار دائرة الربط (Loop)

هو قانون الجهد القائم على قانون حفظ الطاقة، وينص القانون على أن في المسار المغلق أي البداية من نقطة والرجوع إلى نفس النقطة فإن مجموع الجهد يساوي صفر سواء الجهد على المقاومة بإستخدام قانون "أوم" أو القوة الدافعة الكهربائية، مع الأخذ في الاعتبار اتجاه التيار، وبتوضيح أكبر لو سرنا في المسار في الدارة الكهربائية وكان التيار في المقاومة مع اتجاه سيرنا نعلم أن الجهد سالب، وإن كان العكس فإن الجهد موجب. أما بالنسبة للقوة الدافعة الكهربائية فإن مرورنا في الجزء السالب سنأخذه في المعادلة سالب، والموجب موجب.

عند تطبيق قوانين كيرشوف على الشبكات الكهربية، فانه يجب علينا مراعاة الإشارات الجبرية لفرق الجهد أو القوة الدافعة الكهربية. حيث يمثل انخفاض الجهد بقيمة سالبة و يمثل ارتفاع الجهد بقيمة موجبة.

في حالة مصادر الجهد:

- إذا تحركنا من الطرف السالب للبطارية الي الطرف الموجب فهذا يعنى ارتفاع في الجهد ونعبر عن قيمة القوة الدافعة الكهربية للبطارية في هذه الحالة بإشارة موجبة.

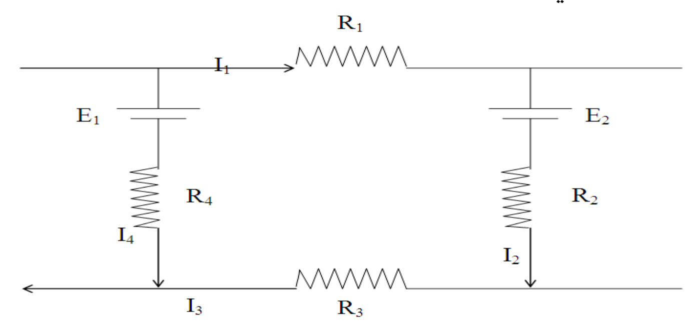
- أما إذا حدث العكس وتحركنا من الطرف الموجب الي الطرف السالب فإن هذا يعنى انخفاض في الجهد ويعبر عنه بإشارة سالبة.

أما في حالة المقاومات:

- إذا تحركنا في اتجاه التيار فيعنى هذا الانتقال من النقطة الأعلى جهدا إلي النقطة الأقل جهدا مما يعنى انخفاض في الجهد ويعبر عن فرق الجهد بين طرفي المقاومة (IR) بإشارة سالبة.

- إذا حدث العكس وتحركنا عكس اتجاه التيار فإننا نتحرك من النقطة الأقل جهدا الي النقطة الأعلى جهدا مما يعنى ارتفاع في الجهد ويعبر عن فرق الجهد بين طرفي المقاومة (IR) بإشارة موجبة.

وبتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على الدائرة الآتية نحصل على:

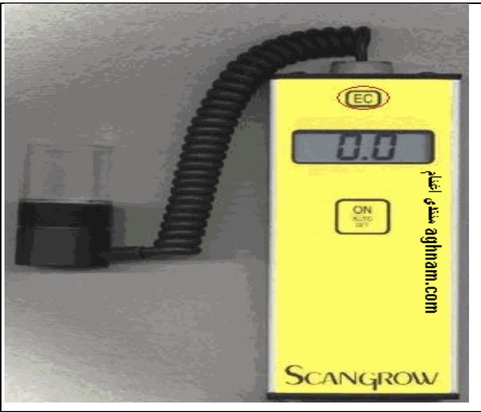


$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_4 R_4 + E_1 - E_2 = 0$$

$$\therefore \quad -I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_4 R_4 = E_2 - E_1$$

استخدام الكهربية فى المجال الزراعي:

١- استخدام بعض الأجهزة التي تعتمد على الجهد الكهربي والمقاومة في معامل التحليل مثل أجهزة قياس الملوحة والحموضة في التربة والمياه.





٢- رصد المقاومة الكهربية للطبقات المختلفة للبئر:
تستخدم الخواص الكهربائية لطبقات البئر فى تحديد أعماق الطبقات ومساميتها ومدى تملح المياه بها وعمق وسمك التغليف والقواسين المعدنية وحالة القواسين المتأكلة بالبئر وهنا نقوم بعمل لوحة رأسية للمقاومة الكهربائية (اوم. متر) فى الآبار المغلفة بقواسين بمقياس رسم مناسب وذلك باستخدام أربعة أقطاب اثنان لرفع التيار الكهربي واثنان لقياس المقاومة، إما على ذبذبة منحنى اعتباري (عند تقارب المسافة بين الأقطاب) أو على ذبذبة منحنى جانبي إذا تباعدت المسافة بين الأقطاب وكان بالبئر مياه

٣- استخدام الكهربية فى قياس رصد قطر البئر بطريقة كاليبر:
هنا عند حفر الآبار ينتج عن الحفر أن داخل البئر يكون قطر الحفر غير متساوي وعشوائي وذلك بسبب الطبقات غير المتماسكة لانهيارها أثناء الحفر الرحوي للبئر أو فى الطبقات التى تعلو الطبقات الصلبة أثناء الحفر بالحفار الدقاق فكي نقوم باختبار المواسير الصلبة التي توضع بين المصافي الخاصة للبئر لذلك يجب اختيار القطر المناسب لتلك المواسير ولذلك تستخدم طريقة كاليبر لتحديد المقاومات المختلفة لكل طبقة (R1, R2, R3, Rn) عن طريق استخدام أقطاب تخضع لفرق جهد معلوم يمر بها تيار كهربائي معلوم شدته، ويمكن رصد قيم مقاومة الطبقات وتوقع في شكل قطاعات رأسية، ويمكن التعرف على أماكن وجود الأجزاء ذات المساحة المرتفعة والمحتوية على مياه جوفية، وتتلخص الفكرة في استخدام عمود قياس به مقاومات كهربائية وأذرع تفرد للخارج وتترجم الذبذبات في حركتها إلى قراءات تسجل قطر البئر مع العمق رأسياً.

الوحدة السادسة: المغناطيسية

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- المجال المغناطيسي للتيار الكهربي
- القوى المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي
- حركة الجسيمات المشحونة في المجال المغناطيسي
- التأثيرات الكهرومغناطيسية
- قانون بيووسافار
- المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف دائري
- المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف حلزوني
- خطوط الحث والفيض المغناطيسي
- بعض تطبيقات المغناطيسية في المجال الزراعي

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

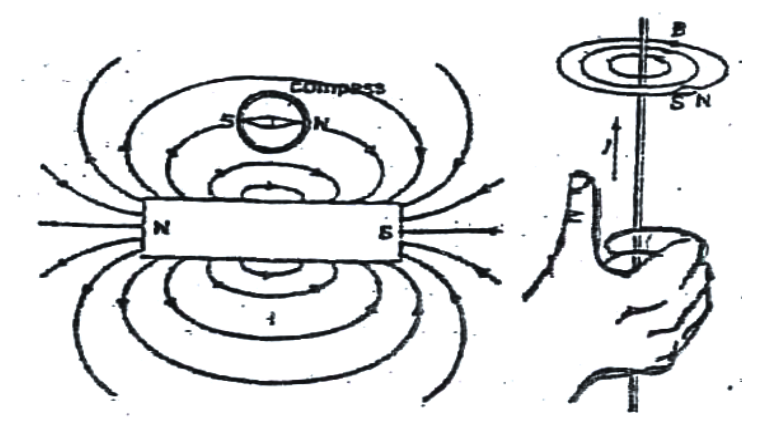
- معرفة مفهوم المجال المغناطيسي للتيار الكهربي
- معرفة القوى المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي
- أهمية دراسة المغناطيسية في الحياه العملية
- معرفة قانون بيووسافار
- فهم خطوط الحث والفيض المغناطيسي
- بعض تطبيقات المغناطيسية في المجال الزراعي

الوحدة السادسة :المغناطيسية

أولاً: المجال المغناطيسي Magnetic Field

١ـ المجال المغناطيسي للتيار الكهربي:

لقد وجد عمليا أن التيار الكهربي أي الشحنات الكهربية المتحركة في سلك ما يكون لها مجال مغناطيسي في الحيز المحيط، ويمكن التعرف على المجال المغناطيسي المصاحب للتيار الكهربي بواسطة الابرة المغناطيسية التي تنحرف لتأثيرها بالمجال المغناطيسي، ولقد وجد عمليا أن اتجاه المجال المغناطيسي يخضع لقاعدة فلمنج لليد اليمنى بحيث إذا اتجه الإبهام في اتجاه التيار فإن اتجاه الأصابع يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي وبذلك فإن خطوط القوى للمجال المغناطيسي المصاحب للتيـــار المار في سلك مستقيم عبارة عن دوائر متحدة ومركزها السلك نفسه كما بالشكل التالي.



أما في الحالة الثانية فإننا نشاهد المجال المغناطيسي الناشىء من مغناطيس طبيعي له قطب شمالي N وقطب جنوبي S فيكون اتجاه خطوط القوى تخرج من القطب الشمالـــي وتدخل القطب الجنوبي.

٢ـ القوى المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي:

القوة الناشئة من حركة الشحنات داخل مجال مغناطيسي تتناسب مع كثافة الفيض المغناطيسي β كما وجد أيضا أن هذه القوة المغناطيسية تزداد مع ازدياد السرعة υ وأكثر من ذلك أن اتجاه القوة يتوقف على اتجاهات كلا من المجال المغناطيسي β والسرعة υ حيث تكون عمودية على المستوى الذي يحتوي اتجاه β ، υ. ومقدار القوة F يتناسب مع مركبة υ العمودية على المجال ومعني ذلك أنه إذا كانت كلا من υ ، β متوازيين فإن القوة تساوي صفر وتعطي قيمة F من العلاقة التالية:

$$F = qvi\text{-}\beta = qv\beta \sin \varphi \qquad (1)$$

حيث Ø هي الزاوية بين المتجهين υ، β ويمكن كتابة العلاقة السابقة في صورة اتجاهية.

$$\bar{F} = q(\bar{\upsilon} \, x \bar{\beta}) \qquad (2)$$

وتكون القوة F بالنيوتن إذا كانت كثافة الفيض β بالوبر /متر مربع م٢ (تسلا) والشحنة q بالكولوم والسرعة υ بالمتر/ثانية في الوحدات العملية M.K.S .

وتكون F بالداين إذا كان β بالجاوس، υ بالسم/ث، q بالوحدات المطلقة في النظام الوحدات العلمية الكهرومغناطيسية e.m.u

$$I \text{ Tesla} = 1 \text{ weber/m}^2 = 10^4 \text{ gauss}$$

ويكون اتجاه F خاضع لقواعد الضرب الاتجاهي.

وعندما يتحرك جسم مشحون في منطقة مجال مغناطيسي وكهربي موجودين في نفس الوقت فإن كلا من المجالين يؤثر بقوة على الجسيم المشحون بحيث تكون القوة الكلية هي الجمع الاتجاهى لكل من القوتين

$$F = q(\bar{E} + \bar{\upsilon} \, x \, \bar{\beta}) \qquad (3)$$

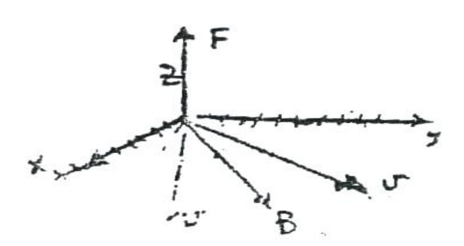
<u>مثال</u>:

أحسب القوة التي تؤثر على الكترون يتحرك بسرعة

$$\bar{\upsilon} = 5 \times 10^6 \, \boldsymbol{i} + 8 \times 16^6 \, \boldsymbol{J} \quad \text{m/s}$$

داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه $\bar{\beta} = 2 \times 10^{-4} \, \boldsymbol{i} + 3 \times 10^{-4} \, \boldsymbol{J} \;\; \text{w/m}^2$

الحل:

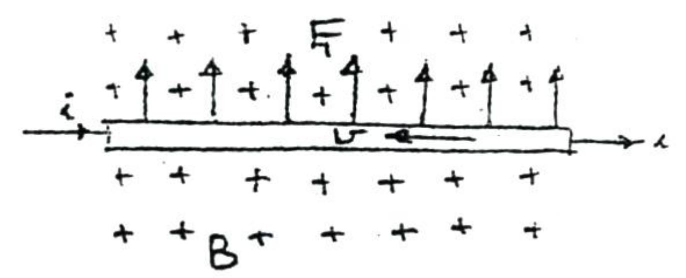


$$F = q(\bar{\upsilon} \, x \, \bar{\beta}) = 1.6 \times 16^{-17} \text{ N } \boldsymbol{K}$$

٣- القوة المؤثرة على موصل يحمل تيارا في مجال مغناطيسي:

عندما يوضع سلك يمر به تيار في مجال مغناطيسي فإن قوة مغناطيسية تؤثر على الالكترونات الحاملة للتيار داخل السلك هذه القوة تنعكس على السلك الحامل للإلكترونات وحينئذ نقول أن السلك يعاني قوة F، والشكل التالي يمثل

سلكاً مستقيما طوله L ومساحة مقطعه A ويحمل تياراً مقداره (i).



نفرض أن السلك موضوع في مجال مغناطيسي كثافته β وعمودياً على مستوى الصفحة واتجاهه إلى الداخل، حيث أن القوة على السلك هي مجموع (جمعاً متجهاً) القوى المؤثرة على الشحنات المتحركة في داخل السلك حيث التيار المار يعطي بالعلاقة:

$$i = nq\,\upsilon A$$

حيث n هي عدد الشحنات المتحركة في وحدة الحجوم،

q هي مقدار الشحنة الالكترونية، υ هي السرعة

حيث $\upsilon \perp \beta$ $\quad F = q\,\upsilon\beta$

عدد الشحنات الموجودة في الطول l هو: $N = n\,l\,a$

∴ القوة الكلية المؤثرة على الشحنات هي:

$$F = Nf = nlAq\upsilon\beta$$

$$F = ilB$$

وإذا صنع السلك زاوية مقدارها θ مع اتجاه المجال فإن المعادلة تصبح:

$$F = ilB\sin\theta$$

وتوضع المعادلة بطريقة المتجهات على الصورة:

$$\bar{F} = i(\bar{\ell}\ x\ \bar{\beta}) \qquad (4)$$

وفي حالة عنصر من السلك طوله $\bar{\ell}$ ويحمل تيار i موضوع في مجال مغناطيسي β

$$\therefore\ dF = i\beta\, d\ell \sin\ \theta = i(d\bar{\ell}\ x\ \beta) \qquad (5)$$

٤- تأثير هال:

يستخدم تأثير هال في تعيين درجة تركيز الالكترونات الحرة في المعادن وأشباه المواصلات.

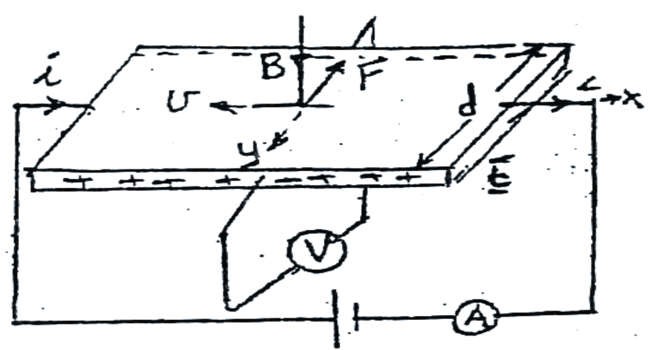
نفرض صفيحة معدنية رقيقة سمكها t وعرضها d يمر بها تيار في شدته i في الاتجاه السيني كما بالشكل التالي فإذا قمنا بقياس فرق الجهد ∇ في الاتجاه الصادي فإنه يكون صفرا ولكن إذا سلطنا مجالا مغناطيسياً كثافة فيضه β في

الاتجاه العمودي على مستوى الصفيحة ينشأ فرق جهد في الاتجاه الصادي يسمى جهد هال وذلك لأن الالكترونات التي تحمل التيار الكهربي i في الاتجاه السيني بسرعة دفعية سوف تتأثر بواسطة المجال β بقوة F حيث $F = E\upsilon B$ في الاتجاه الصادي طبقا لقاعدة فلمنج لليد اليمنى وبهذا تنحرف الالكترونات وتتراكم على أحد جوانب الصفيحة الذي يصبح سالباً بينما يصبح الجانب المقابل له موجبا وينشأ فرق الجهد بينها V_H يدعي بجهد هال يؤدي إلى تولد مجال كهربي E_H في هذا الاتجاه الصادي $E_H = \frac{V_H}{d}$ ويقف تراكم الالكترونات في الجانب المذكور عندما تصبح القوة F المؤثرة على الالكترونات بواسطة المجال المغناطيسي B مساوية ومضادة للقوة المؤثرة على الالكترون بواسطة المجال الكهربي الجديد E_H الناشئ من تولد فرق الجهد هال وفي هذه الحالة

$$e\upsilon\beta=e\,E_H \qquad (6)$$

حيث e شحنة الالكترون، υ سرعته الدفعية، E_H مجال هال.

$$\therefore\ \upsilon = \frac{E_H}{B} \rightarrow$$



وإذا فرضنا أن معدن الصفيحة يحتوي على n الكترون حر في وحدة الحجوم، A مساحة مقطع الصفيحة حيث $A = dt$ ولكن مصدر التيار الكهربي i يعطي العلاقة

$$i = \upsilon A\, ne \rightarrow$$

والتعويض عن $\upsilon = \frac{E_H}{B}$ يكون مجال هال

$$E_H = \frac{Bi}{ne\ \ A}$$

$$E_H = \frac{Y_H}{d} = \ , \qquad A = dt \ \text{ولكن}$$

فإن فرق الجهد هال

$$V_H = \frac{iB}{net} \qquad (1\text{-}7)$$

وبهذا يمكن تعيين درجة تركيز الالكترونات الحرة n عملياً.

مثال:

صفيحة رقيقة من النحاس سمكها 1mm وعرضها 2 cm مسلط عليها مجال مغناطيسي عمودي على مستواها وكثافة فيضه $1.5\ w/m^2$ فإذا مر تيار شدته 200A في الصفيحة.

فاحسب عدد الالكترونات الحرة في المتر المكعب من النحاس إذا علمت أن فرق جهد هال 22 μ∇

$$n = \frac{IB}{Vet} = \frac{200\ x\ 15}{22\ x\ 10^{-6}\ x\ 1.6x\ \ 10^{-19}\ x\ 1\ x\ \ 10^{-3}}$$

$$= \ 8.4\ \text{x}\ \ 10^{28}\ \text{electron/m}^3$$

مثال:

شريحة من النحاس عرضها 1.5cm وسمكها 0.1cm تحمل تيار شدته 5A وضعت داخل مجال مغناطيسي قيمة 1.2T وعمودي على اتجاه التيار أوجد جهد هال.

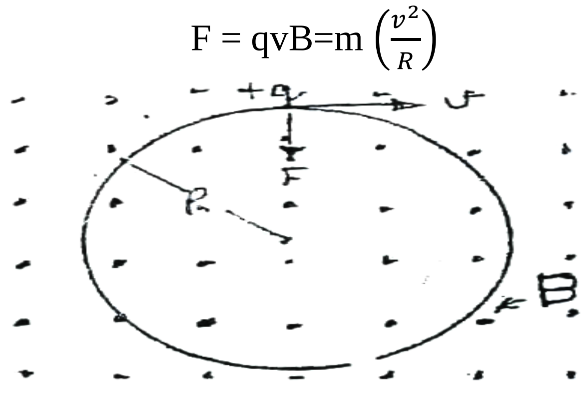
$$n = 8.48\ \text{x}\ 10^{28}\ \text{electron /m}^3$$

$$\mathbf{V_H} = \frac{\boldsymbol{IB}}{\boldsymbol{net}} = \frac{\mathbf{5\ \ x\ 1.2}}{(\mathbf{8.48\ x\ 10^{28}})(\mathbf{1.6\ x\ 10^{-19}})(\mathbf{0.1\ x\ 10^{-2}})} = \mathbf{0.442\ \mu v}$$

٥- حركة الجسيمات المشحونة في المجال المغناطيسي:

نفرض أن جسيم مشحون بشحنة موجبة عند النقطة o في مجال مغناطيسي منتظمB نفرض أن هذا الجسم له سرعة υ في إتجاه عمودي على المجال. وكما هو معروف إذا أثرت قوة على جسيم فـي اتجاه عمودي على السرعة فإن اتجـاه السرعة هو الذي يتغير فقط بينما تبقى قيمة السرعة ثابتة. وكما يتضح مـن الشكل التالي فإن اتجاه السرعـــة يتغير من نقطة إلى أخرى تحـت تأثير قوة ثابتة ومسار الجسيم في هذه الحالة يكون دائري ومن قانون نيوتن الثاني:

$$F = qvB = m\left(\frac{v^2}{R}\right)$$



حيث v^2/R هي العجلة المركزية، m كتلة الجسيم. ونصف قطر المسار الدائر يعطي من العلاقة:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

ومنها يمكن إيجاد السرعة الزاوية

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}$$

ويكون الزمن الدوري

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

مثال:

يتحرك بروتون حركة دائرية نصف قطرها 14cm داخل مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.35T وعمودياً على سرعة البروتون. أوجد سرعة البورتون حيث:

$$q = 1.6 \times 10^{-19}\ C, \qquad m = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$$

الحل

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$V = \frac{qBR}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.35 \times 0.14}{1.67 \times 10^{-27}} = 4.69 \times 10^{6}\ m/s$$

مسائل على الباب الأول

- دقيقة α تسير في مسار دائري نصف قطره 0.45 متر وذلك في مجال مغناطيسي كثافة فيضه ١.٢ وبر/م٢. احسب: أ- سرعة الدقيقة. ب- زمن الدورة جـ- طاقة الحركة بالالكترون فولت.

الحل:

أ- ٢.٦x١٠٢ م/ث

ب- $1.1x10^{-2}$ ث

ج- ١٤ ميجا الكترون فولت.

- احسب جهد هال الناشئ بين طرفي صفيحة في الاتجاه الصادي لعينة شبه موصله عرضها في هذا الاتجاه ٠.١ متر وأن شدة التيار المار في الاتجاه السيني ١٠ مللي أمبير وكثافة الفيض المغناطيسي العمودي على مستوى الصفيحة ٠.٦ وبر/م٢ وأن معامل هال لهذه العينة 3.84×10^{-4} م٣ كولوم-١ (203×10^{-4} فولت).

– إليكترون سرعته $\upsilon = 2 \times 16^{6}\ i + 3 \times 10^{6}\ J\ \ m/s$ دخل مجال مغناطيسي $B = 0.03\ i - 0.15\ J\ \ T$ احسب قيمة واتجاه القوة المؤثرة على

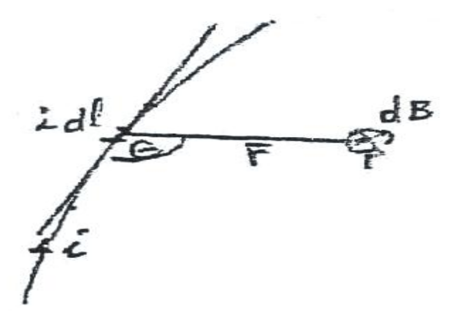
الالكترون بواسطة المجال ($F = 6.2 x 10^{-14}N$).

ثانياً
التأثيرات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Effects

لوحظ أنه إذا تحركت شحنة كهربائية فإن مجالاً مغناطيسياً ينشأ في الفراغ المحيط بها، وعليه إذا تحركت أي شحنة كهربية في مجال مغناطيسي فإنها تتأثر به، أي يؤثر عليها بقوة ولما كانت الشحنات الكهربائية المتحركة المولدة للمجال المغناطيسي هي تلك الشحنات الحاملة للتيار في الموصل فإننا سوف ندرس المجال المغناطيسي الناشىء حول موصل حامل للتيار.
وفي هذا الجزء سوف ندرس العلاقة بين التيارات أو الشحنات المتحركة والمجالاىت المعناطيسية الناشئة عنها أو المؤثرة فيها، وهذا ما يعرف بالتأثيرات الكهرومغناطيسية.

المجال المغناطيسي الناشىء عن عنصر صغير من موصل يحمل تياراً:
(قانون بيووسافار): (Biot-Savart’s Law)

لنعتبر عنصراً صغيراً $d\ell$ من موصل في دائرة كهربائية ينشئ التيار المار في الدائرة مجالا مغناطيسياً في الفراغ المحيط بالدائرة ويكون المجال الكلي عند أي نقطة عبارة عن محصلة المجالات الصغيرة الناشئة عن العناصر $d\ell$ المكونة للدائرة .ويقع المجال المعناطيسي $d\beta$ عند النقطة P الناشىء عن العنصر $d\ell$ كما في الشكل (١) في مستوى عمودي على محور $d\ell$ ويكون هو عمودياً على المستوى الذي يقع فيه محور $d\ell$ والخط الواصل بين $d\ell$, P (المتجه F).



ويمكن تحديد اتجاه المجال بما يعرف بقاعدة اليد اليمنى وهي أنه عندما تقبض اليد اليمنى على العنصر بحيث يكون الخنصر مشيراً إلى اتجاه التيار في العنصر فإن باقي أصابع اليد تشير إلى اتجاه خطوط الحث المغناطيسي.
وقد وجد عمليا أن$d\,\beta$ عند نقطة ما تتناسب:

١- طردياً على مقدار التيار المار خلال الموصل (i).
٢- طرديا مع مركبة العنصر العمودية على الخط الواصل بين النقطة P والعنصر ($d\ell_{\perp}$) وهو $d\ell \sin\theta$
٣- عكسيا مع مربع المسافة بين العنصر والنقطة (P).
أي أن:

$$d\beta = \frac{k\, id\ell\ \sin\theta}{r^2} \quad (٢.١)$$

وحيث k ثابت يتوقف على نوع الوسط وكذا على الوحدات المستخدمة، وفي النظام القياسي العالمي SI فإن:

$$K = \frac{\mu_o}{4\pi} = 10^{-7} \text{ webre / ampere meter}$$

إذا كان الوسط فراغاً، وتعرف μ_o بمعامل النفاذية المغناطيسية للفراغ (magnetic permeability) وعلى ذلك تصبح المعادلة كالاتي:

$$d\beta = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{id\ell\ \sin\theta}{r^2} \quad (2.2)$$

وتعرف هذه العلاقة بقانون بيووسافار.
وإذا كان الوسط ليس هو الفراغ فإننا نعرف النسبة بين معامل نفاذيته (μ) إلى معامل نفاذية الفراغ μ_o بمعامل النفاذية النسبي μ_r أي أن:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \quad (2.3)$$

وعلى ذلك فإن الصورة العامة للمعادلة (١) تصبح:

$$d\beta = \frac{\mu_o \mu_r}{4\pi}\ \frac{id\ell\ \sin\theta}{r^2}$$

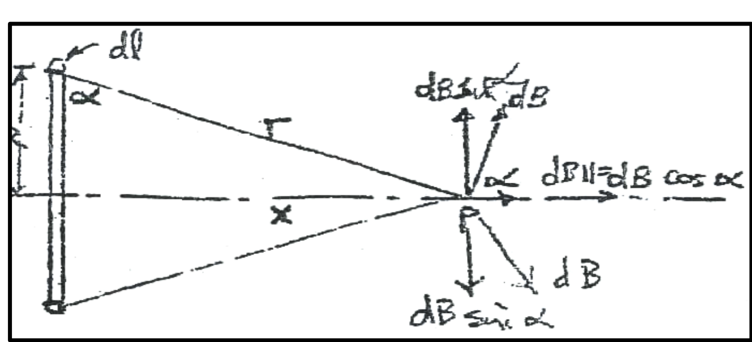
فتكتب المعادلة اتجاهاً

$$d\beta = \frac{\mu_o}{4n}\frac{i\ d\ell\ x\, a\hat{}r}{r^2}$$

حيث $\hat{a}r$ متجه الوحدة

<u>المجال المغناطيسي الناشيء عن مرور تيار في ملف دائري:</u>

شكل(٢) يمثل لفة دائرية من سلك نصف قطرها R ويمر بها تيار ومقداره (i).



شكل (٢.٢)

ولحساب الحث المغناطيسي عند نقطة P خارجة وتقع على محور الملف وعلى بعد X من مركزه نأخذ عنصرا صغيرا $d\ell$ على مسافة r من النقطة P ويصنع زاوية (α) مع مستوى الملف.

الحدث $d\beta$ الناشيء عن العنصر $d\ell$ عمودي على كل من r والعنصر $d\ell$ أي عمودي على المستوى الذي يحتويهما وبذلك يكون:

$$d\beta = \frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{i d\ell\ \sin\theta}{r^2} = \frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{i d\ell\ \sin\theta}{(R^2+X^2)}$$

هذه الكمية يمكن تصورها على أنها مكونة من مركبتين أحدهما في اتجاه المحور والأخرى عمودية. أما العمودية فإتجاهها يتغير بوضع $d\ell$ و المحصلة الكلية لها إذا أخذنا في الاعتبار الدائرة الكاملة تساوي صفر.

والمركبة في اتجاه المحور تتجمع مع بعضها عند إجراء التكامل على الدائرة كلها إذ أنها تقع في اتجاه واحد. وعلى ذلك تكون قيمة تلك المركبة المحورية العمودية على مستوى الملف هي:

$$d\beta = d\beta \cos\alpha$$

$$= \frac{\mu_o}{4\Pi}\,\frac{i\ d\ell}{(R^2+X^2)} \cdot \frac{R}{(R^2+X^2)^{1/2}} = \frac{\mu_o}{4\Pi}\,\frac{i\ R\ d\ell}{(R^2+X^2)^{3/2}}$$

وبذلك يكون الحث المغناطيسي المحوري الناشيء عند النقطة P من الكلف كله هو:

$$\beta = \int d\beta_x = \frac{\mu_o}{4\Pi}\,\frac{i\ R}{(R^2+X^2)^{3/2}}\int d\ell$$

$$\beta = \frac{\mu_o}{4\Pi}\,\frac{iR \cdot 2\Pi R}{(R^2+X^2)^{3/2}}$$

$$\beta = \frac{\mu_o}{2}\,\frac{iR^2}{(R^2+X^2)^{3/2}}$$

.... (٢.٥)

ولملف عدد لفاته (N) يكون :

$$\beta = \frac{\mu_o}{2}\,\frac{N iR^2}{(R^2+X^2)^{3/2}}$$

(2.6)

<u>حالة خاصة:</u>

إذا كانت النقطة p هي مركز الملف. يكون x = صفر وتصبح المعادلة (٦):-

$$\beta = \frac{\mu_o\, i}{2\, R}$$

والملف عدد لفاته (N) يكون

$$\beta = \frac{\mu_o N\, i}{2R}$$

وتحذف μ_o من المعادلات إذا كان المطلوب هو شدة المجال المغناطيسي H لأن $\beta = \mu_o \mathrm{H}$

2-3 – المجال المغناطيسي الناشىء عن مرور تيار في سلك مستقيم:

اعتبر موصلا على هيئة سلك يمر به تيار شدته (i) ويقع في مستوى الورقة لحساب كثافة الحث المغناطيسي عند النقط p التي تقع على محور عمودي عل السلك. وعلى مسافة (a) منه، فإننا نقسم السلك إلى عناصر صغيرة اتجاه المجال المغناطيسي $d\beta$ عند النقطة P الناشىء عن العنصر dx يقع في مستوى عمودي على الورقة وإلى الداخل إذا كان اتجاه التيار كما هو بالشكل، أي عمودي على المستوى الذي يحوي كل من r ، dx

وتكون محصلة المجال عند النقطة P في المجموع الجبري ؟ لمجالات $d\beta$ الناشئة عن العناصر المتكون منها السلك.

أي أن:

$$\beta = \int d\beta_{\perp} = \frac{\mu_o}{4\Pi} \int \frac{i \quad dx \quad \sin\theta}{r^2}$$

$$\because \quad \sin\theta = \frac{a}{r} \qquad \therefore \quad r = a \quad \operatorname{cosec}\theta$$

$$\because \quad \frac{a}{x} = \tan\theta \qquad \therefore \quad x = a \quad \cot\theta$$

$$\therefore \quad dx = -a \quad \operatorname{cosec}^2\theta . \quad d\theta$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{\mu_o i}{4\Pi} \int_{\theta=\alpha}^{\theta=\beta} \frac{-a . \quad \operatorname{cosec}^2\theta . \quad d\theta . \quad \sin\theta}{a^2 \quad \operatorname{cosec}^2\theta}$$

$$= \frac{\mu_o i}{4\Pi a} \int_{\alpha}^{\beta} - \sin\theta . \quad d\theta$$

$$\beta = \frac{\mu_o i}{4\Pi a} \quad (\cos\beta - \cos\alpha)$$

…(2.6)

وإذا كان السلك ممتدا إلى مالا نهاية بالطرفين فإن: $\alpha = \pi$ ، $\beta =$ صفر

ويكون كثافة الفيض المغناطيسي

$$\beta = \frac{\mu_o I}{2\pi a}$$

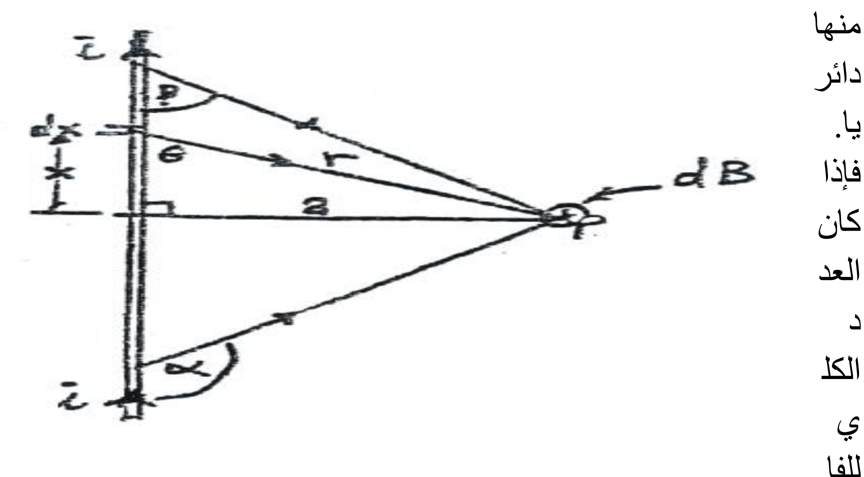
وبذلك تكون شدة المجال المغناطيسي عند أ هي:

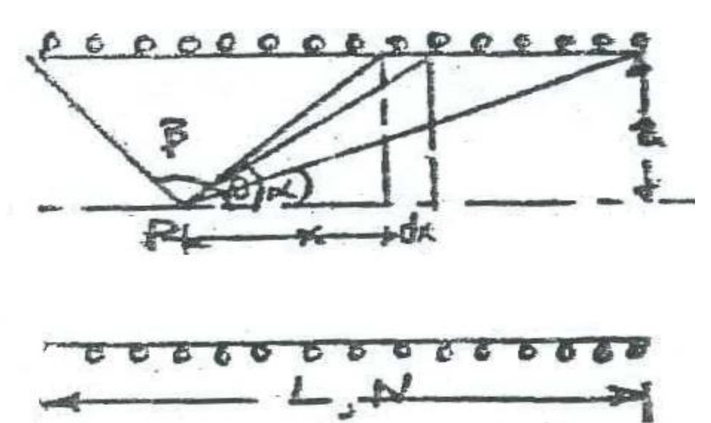
$$H = \frac{i}{2\pi a}$$

واضح من المعادلة أن خطوط المجال المغناطيسي تكون دوائر تقع في مستويات عمودية على السلك ومركزها على السلك نفسه، وهذه الصيغة لا تعتمد على شكل وأبعاد الجسم المنشيء للمجال المغناطيسي حيث أننا نجد دائما أن خطوط المجال تكون خطوطاً مقفلة.

2-4 المجال المغناطيسي الناشيء عن مرور تيار في ملف حلزوني (Solenoid):

نفرض أن لدينا ملفا حلزونيا طوله L ونصف قطر مقطعة a كما في الشكل (٤)، ملفوف بحيث تكون لفاته قريبة جدا من بعضها بحيث يمكن اعتبار أن أيا منها دائر يا. فإذا كان العدد الكلي للفات هو N يكون العدد الموجود في وحدة الأطوال هو $\frac{N}{L}$





شكل (٢.٤)

ولحساب كثافة الفيض المغناطيسي عند النقطة P داخل الملف وواقع على محوره نتيجة مرور التيار، نحسب المجال الناشىء عن جزء طولي dx من ملف وليكن على بعد x من النقطة P ،ويكون اتجاه هذا المجال عمودياً على مستوى مقطع الملف إلى أنه واقع على المحور.

وحيث أنه في الصورة العامة:

$$d\beta = \frac{\mu_o}{4\Pi} \frac{i \ d\ell \ \sin\theta}{r^2}$$

$d\ell$ هذا هو الطول من السلك الموجود في العنصر dx ومساوي حاصل ضرب عدد اللفات الموجودة في العنصر dx، في طول اللفة بالواحدة، أي أن:

$$d\ell = \left(\frac{N}{L} dx\right) .2\pi a$$

$$d\beta = \frac{\mu_o}{2} \frac{Ni \ a \ \sin\theta}{L \quad r^2} dx \qquad \dots (2.7)$$

وحيث أن:

$$\frac{a}{x} = \tan\theta \qquad \therefore \quad x = a \cot\theta$$

$$\therefore \quad dx = -a \ \operatorname{cosec}^2\theta . \ d\theta$$

$$\text{and} \quad r = a \ \operatorname{cosec}\theta$$

وبالتعويض عن dx، r في المعادلة (2.7) والتكامل نجد أن:

$$\beta = \frac{\mu_o}{2} \frac{Ni}{L} \int_{\theta=\beta}^{\theta=\alpha} -\sin\theta . \ d\theta$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{\mu_o}{2} \frac{Ni}{L} (\cos\alpha - \cos\beta)$$

... (2.8)

ويطلق على المقدار (Ni) ككل بعدد (الأمبير.لفة).

وعند أي نقطة على محور ملف حلزوني طويل بحيث تكون بعيدة عن أي من نهاتيه، تكون α = صفر، β = ١٨٠ وبذلك يكون:

$$\beta = \mu_o \frac{Ni}{L} = \mu_o ni$$

حيث n هي عدد اللفات لوحدة الأطوال من الملف.

وعند نقطة عند احدى نهايتي محور ملف حلزوني طويل، تكون α = صفر β = ٩٠، وبذلك يكون:

$$\beta = \frac{\mu_o}{2}\frac{Ni}{L} = \frac{\mu_o}{2} ni$$

<u>مثال (١):</u>

في نموذج بوهر لتركيب ذرة الأيدرروجين يدور الالكترون حول النواة في مسار دائري نصف قطره $5.1x\ 10^{-11}$ متر بحيث يعمل $6.8x\ 10^{-15}$ دورة /ثانيةاحسب كثافة الفيض المغناطيسي المتولد في مركز المسار.

$$= e\nu = 1.6\times10^{-19}\times6.8\times10^{-15}$$

$$= 1.1\times10^{-3} A.$$

$$\beta = \frac{\mu_o i R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} = \frac{\mu_o i}{2R}$$

عند المركز

$$= \frac{4\Pi\times10^{-7}\times1.1\times10^{-3}}{2\times5.1\times10^{-11}} = 14\frac{weber}{m^2}$$

<u>مثال (٢):</u>

سلك على شكل مسدس منتظم يحمل تيار شدته I وطول ضلعه L احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز المسدس.

$$\beta = \frac{n\mu_o I}{4\Pi a}(\cos\beta - \cos\alpha)$$

حيث n عدد الأضلاع

$$\alpha = 120°, \beta = 60°, a = \frac{\sqrt{3}}{2}L \text{ و } n = 6$$

$$\beta = \frac{6\mu_o I}{4\Pi\sqrt{3}L}\cos 60 - \cos 120$$

$$= \frac{\mu_o I\sqrt{3}}{\pi L} \quad Tesla$$

2-6 – خطوط الحث والفيض المغناطيسى:

(Induction lines and magnetic flux)

أي مجال مغنايسي يمكن تمثيله بواسطة خطوط تسمى متجه الحث المغناطيسي. وعدد الخطوط التي تعبر وحدة المساحات عموديا عليها تساوي مقدار الحث المغناطيسيβ .

ويسمى العدد الكلي لخطوط الحث المغناطيسي التي تعبر سطحاً ما بالفيض المغناطيسي خلال هذا السطح ويرمز له بالرمز (ϕ) فإذا كان β منتظماً وعمودياً على مساحة محددة A فإن:

$$\phi = \beta A$$

وإذا كان مقدار واتجاه المجال المغناطيسي يتغير من نقطة إلى أخرى من السطح فإن الفيض الكلي خلال المساحة المعينة يعطي من

$$\phi = \oint \beta \, dA \qquad \cos\theta$$

حيث β الحث المغناطيسي غالباً ما يسمى بكثافة الفيض، θ هي الزاوية بين خطوط الحث والعمودي على السطح، ويمكن كتابة هذه المعادلة بطريقة المتجهات على الصورة:

$$\phi = \oint \overline{\beta_n} \; \overline{dA}$$

حيث β_n الفيض العمودي لكل وحدة مساحة أو كثافة الفيض.

تطبيقات المغناطيسية فى المجال الزراعي

١- دراسة احتمالات تواجد المياه الجوفية:

يتم بالفعل استخدام المغناطيسية والكهرومغناطيسية لاستكشاف أماكن تواجد المياه الجوفية وذلك لتحديد الأماكن التي نقوم فيها بحفر الآبار الجوفية واستخدام المياه الجوفية فى ري الأراضي الصحراوية وهناك أجهزة مختلفة مثل جهاز فلاديوميتر يوضع فى الطبقة السطحية لعمق ١٠ أمتار وتقسم الأرض إلى مربعات على طول مساحة الأرض لتمثل شبكة للكشف عن المياه باستخدام برنامج كمبيوتر ونقوم بتحديد الطبقات الحاملة للمياه الجوفية وتحديد أماكنها وعمقها وامتداد هذه الطبقات شرقا وغربا.

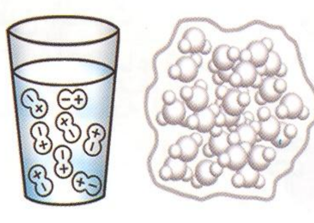
وتستخدم هذه الطريقة أيضا فى تحديد عمق المياه الجوفية التي يمكن أن تضر بالآثار المدفونة أسفل سطح التربة وقد تم بالفعل دراسة تأثير هذه المياه على جسم أبو الهول وتستخدم هذه الطريقة أيضا للكشف عن درجة ملوحة المياه الجوفية.

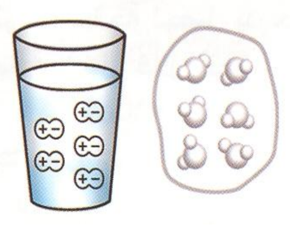
٢- استخدام التقنية المغناطيسية فى تحلية المياه:

فى المجال الزراعي وخصوصاً فى أغراض الري الزراعي ولكن عندما يتم استخدام التقنية المغناطيسية فى معالجة مياه الري فإن الماء المعالج مغناطيسياً يساعد في تكسير وتفتيت ذرات الأملاح فإنه يساعد بشكل واضح على غسيل التربة، وكذلك مساعدة النباتات على امتصاص الماء والمعادن بسهولة حتى في الأراضي عالية الملوحة.

جزئ الماء في غاية البساطة مكون من ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين، وجزيئاته ترتبط ببعضها بروابط هيدروجينية، وقد تكون هذه الروابط ثنائية أو متعددة فقد تصل إلى عشرات الروابط، وعند وضع جزيئات الماء داخل مجال مغناطيسي فإن الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات إما أن تتغير أو تتفكك وهذا التفكك يعمل على امتصاص الطاقة ويقلل من مستوى اتحاد الماء ويزيد من قابلية التحليل الكهربائي ويؤثر على تحلل البلورات.

إن مشكلة المياه المالحة للزراعة ليست في زيادة كمية الأملاح بل في الشكل الذي تكون عليه الأملاح في الماء (ذائبة أو صلبة) وذلك بسبب وجود الأملاح فيها على شكل بلورات صلبة مؤلفة من عدد كبير من الجزيئات الملحية التي ترتبط ببعضها بروابط كيميائية متينة وهذا يسب عدم انتظام تلك الجزيئات من حيث الشحنة الكهربائية (سالب – سالب – موجب – موجب – موجب...) كما بالشكل التالي:







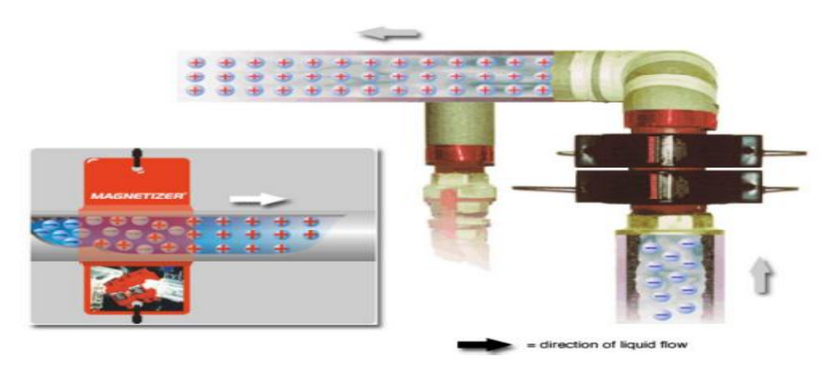
بلورات ملحية

تلك البلورات الملحية لها ضغط أسموزي عالي أكبر من قدرة جذور النباتات على امتصاص الماء الميسر مما يسبب العطش الفسيولوجي للنبات وتمنعه من امتصاص الماء ثم يذبل ويموت النبات. من ناحية أخرى فإن الأملاح الذائبة ممكن ان تتحرك بالخاصية الشعرية للمسام الصغرى لحبيبات التربة ومن ثم يرتفع إلى أعلى سطح التربة فيتبخر الماء بسرعة وخاصة في الأجواء الجافة الحارة وتترسب الأملاح على سطح التربة كطبقات ملحية متزهرة.

وعند استخدام أجهزة المعالجة المغناطيسية لمياه الري تقوم بتحويل كميات الأملاح الكبيرة الموجودة بمياه الري حتي يستفيد النبات من مياه الري بأكبر كفاءة ممكنة حيث يمتص احتياجاته ويترك الباقي والذى يتم صرفه إلى شبكة الصرف ويتم خروج الأملاح الزائدة بعيداً عن قطاع التربة حيث أنه يرفع كفاءة غسيل الأملاح من قطاع التربة.

الماء الممغنط:

يعرف على أنه هو الماء الذي تم تمريره خلال مجال مغناطيسي طبيعي وفق حسابات معينة ؛ ويؤدي ذلك إلى تغيير وتحسين في الخواص الفيزيائية التي تتمثل في التوصيل الكهربائي، الذوبانية، التبلر، التبلمر، التوتر السطحي، التفاعلات الكيميائية، التبخر، التبلل، الليونة، الخواص البصرية، العزل الكهربائي والنفاذية. والشكل التالي يوضح تأثير المغناطيسية على خواص الماء.

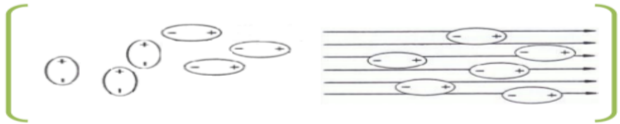


صورة توضح تاثير المجال المغناطيسي على شحنات الماء



شكل ٣. تأثير المجال المغناطيسي على الجزيئات غير القطبية

أما الجزيئات القطبية كالماء مثلاً فهي تترتب بصورة عشوائية لأغلب جزيئاتها فعند تعرضها الى مجال مغناطيسي قوي فإن عدداً كبيراً من الجزيئات المبعثرة الترتيب تتجه بإتجاه المجال المغناطيسي وكما في الشكل (٤) . (Jack Quinn وأخرون ، ١٩٩٨).



شكل ٤. تأثير المجال المغناطيسي على الجزيئات القطبية

ويمكن فيما يلي إجمال فوائد المغناطيسية:

- الزراعة باستخدام مياه تصل ملوحتها إلى ٨٠٠٠ جزء في المليون
- تحييد أضرار كلوريد الصوديوم وازالة الأملاح من منطقة جذور النبات والقضاء على الطبقة الملحية المتراكمة على سطح التربة.
- الحصول على زيادة فى كمية المحصول بنسب تتراوح ما بين ٢٠- ٤٠% حسب نوع المحصول وظروف الانتاج فضلا عن الحصول على ثمار ذات جودة عالية فى الطعم واللون والرائحة.
- حل مشكلة الترسيبات الكلسية ومشكلة انسداد النقاطات فى شبكة الرى وكذلك المساعدة على استخدام مياه الرى الغنية بالحديد بدون الحاجة الى تنظيف شبكة الرى والنقاطات بصفة دورية
- تقليل فترة النضج بشكل ملحوظ بالإضافة إلى الحصول على نتائج مبهرة فى تحسن مستوى الانبات وزيادة النمو الخضري.
- توفير ٥٠% من الأسمدة المستخدمة مع زيادة قدرة التربة على امداد النبات بالعناصر السمادية.
- تطهير مياه الرى من الميكروبات بنسبة ٥٠% وخفض نسبة اصابة النبات بالأمراض بنسبة ٦٠% .

الوحدة السابعة: الفيزياء الحرارية

تشمل هذه الوحدة الدروس التالية:

- كمية الحرارة ودرجة الحرارة
- أجهزة قياس درجة الحرارة
- السعر
- السعة الحرارية لجسم
- المكافئ المائي لجسم
- المكافئ الميكانيكي للحرارة
- الحرارة النوعية الذرية لفلز
- طرق تعيين الحرارة النوعية للمواد
- مصادر الحرارة
- التدفق الحرارى وطرق انتقال الحرارة
- قانون نيوتن للتبريد
- الشمس والطاقة الشمسية

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على:

- معرفة مفهوم الحرارة وتأثيراتها
- معرفة الفرق بين الحرارة ودرجة الحرارة
- أهمية دراسة الحرارة في الحياه العملية
- معرفة مصادر الطاقة الحرارية
- الالمام بأجهزة قياس درجة الحرارة والأساس العلمي لها
- العلاقة بين تربط بين مقاييس درجة الحرارة المختلفة
- التمييز بين السعر، الحرارة النوعية، السعة الحرارية والمكافئ المائي لجسم
- معرفة الحرارة النوعية للفلز
- معرفة طرق تعيين الحرارة النوعية

الحرارة Heat

تهدف الفيزياء إلى اكتشاف وفهم الأساسيات والقوانين التي تحكم الكون ومن ضمن هذه الأساسيات هو التعرف على ماهية الحرارة وطبيعتها حيث أننا نشعر بها في حياتنا اليومية بتقلبات الجو من البرودة والسخونة وأيضاً نتعامل مع الحرارة لأغراض مختلفة مثل الطهى والتدفئة والتبريد ..... إلخ. ولقد سادت لفترة طويلة أن الحرارة عبارة عن سائل خفى لا وزن له أطلق عليه اسم كالوريك (Caloric) وحسب هذه النظرية فإن الأجسام الساخنة تحتوى على كمية كبيرة من الكالوريك، وفي القرن الثامن عشر الميلادي ظهرت تجارب أثبتت أن الحرارة عبارة عن حركة وليست مادة، وقد جاء العالم الفيزيائي الشهير جول (Joule) الذى قام بمجموعة من التجارب أكد من خلالها على مفهوم ارتباط الحرارة بالحركة فقد كانت التجارب تهدف إلى تحويل الشغل إلى حرارة فمثلاً قام بقياس الحرارة المتولدة في الماء والزئبق عند تحريك بعض العجلات المغمورة في كل منهما وتسخين الهواء بواسطة الضغط عليه، وحديثاً وفى ضوء تطور علم الفيزياء الذرية أصبح مفهوم الحرارة واضحاً فهي تعبر عن الحركة العشوائية لجزيئات وذرات المادة سواء كانت صلبة، سائلة أو غازية وأصبحت الحرارة أحد أهم مصادر الطاقة وبالتالي أصبح من السهل تحويل الطاقة الحرارية إلى أشكال أخرى من الطاقة أهمها الطاقة الكهربائية.

العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة:

العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة تشبه العلاقة بين كمية الماء ومستوى الماء في اناء، لنوضح كيف ذلك؟

إذا كان لدينا وعائين غير متساويين في الحجم ووضعنا في الأول لتر من الماء ووضعنا في الثاني لتر من الماء، فإن مستوى الماء في الإناء الكبير سيكون بالتأكيد أقل من مستوى الماء في الإناء الصغير رغم تساوي كمية الماء فيهما، أي أن تساوي كمية الماء في الوعائين لا يعني بالضرورة تساوي مستوى الماء فيهما. واذا ملأنا الوعائين السابقين بحيث يصبح مستوى الماء فيهما متساوي، فإننا نلاحظ أن كمية الماء في الوعاء الكبير أكبر من كمية الماء في الوعاء الصغير رغم تساوي مستوى الماء فيهما،

أي أن تساوي مستوى الماء في الوعائين لا يعني بالضرورة تساوي كمية الماء فيهما.
وكذلك بالنسبة لكمية الحرارة ودرجة الحرارة، فحين نرغب بتسخين كميتي ماء مختلفتين في الحجم من ١٠ درجات مئوية إلى ٥٠ درجة مئوية فإن الكمية الأكبر تحتاج إلى كمية حرارة أكبر رغم تساوي درجة حرارتهما والعكس صحيح، أي أن تساوي درجة حرارة الجسمين لا يعني بالضرورة تساوي كمية حرارتهما، وتساوي كمية حرارة جسمين لا يعني بالضرورة تساوي درجة حرارتهما.

وبطريقة حسابية إذا قمنا بتسخين ١ كيلوجرام من الماء من درجة حرارة ١٥ درجة مئوية إلى ٢٠ درجة مئوية يكتسب الماء كمية من الحرارة = الحرارة النوعية للماء × ٥ م^{o} = ٤٨١٠ جول/ م^{o} × ٥ = ٢٤٠٥٠ جول
هذه هي كمية الحرارة التي يكتسبها ١ كيلوجرام ماء عند تسخينه ورفع درجة حرارته ٥ درجات. وهذا المثال يوضح أيضا الفرق بين الحرارة التي هي طاقة حرارية بالجول، وبين درجة الحرارة التي قد نقيسها "بدرجة سلزيوس" أو كلفن.
يمكن تحويل الحرارة (الطاقة الحرارية) إلى أنواع أخرى من الطاقة مثل طاقة كهربائية ويتم ذلك في محطات القوى، أو تحويل الحرارة إلى طاقة حركية مثل عمل آلة بخارية أو محرك احتراق داخلي وغيرها.
وسوف نتحدث عن المفهومين بشيءٍ من التفصيل فيما يلى:

درجة الحرارة Temperature

درجة الحرارة هي قيمة عددية افتراضية تعبر عن مقدار درجة سخونة أو برودة الجسم أو المادة وتتناسب طردياً مع طاقة حركة جزيئات الجسم، فدرجة الحرارة صفة في المادة تحدد اتجاه انتقال الحرارة من جسم إلى أخر في الوضع الطبيعي، وتعتبر درجة الحرارة لأى جسم مقياساً للطاقة الداخلية لجزيئاته بمعنى أن الجسم الذى لجزيئاته طاقة داخلية كبيرة تكون درجة حرارته مرتفعة وعلى ذلك يمكن التعرف على حالة الجسم الحرارية بالتعرف على درجة حرارته، وقد أثبتت الدراسات العلمية الحديثة أن التغيرات البسيطة في درجات الحرارة لها تأثيرات كبيرة.
وهي أيضاً مقياس الاتزان الحراري ونعني بهذا الحالة التي عندها لا تنتقل الحرارة من نقطة لأخرى وذلك لعدم وجود فارق في درجات الحرارة،

ويمكن تعريفها أيضاً على أنها خاصية فيزيائية يمكن بواسطتها معرفة ما إذا كان الجسم في حالة اتزان حرارى مع جسم آخر أم لا أو مع الوسط المحيط أم لا. وتقاس درجات الحرارة باستخدام أنواع مختلفة من مقاييس الحرارة أهمها مقياس الحرارة السائلي، مقياس الحرارة الغازي، مقياس الحرارة البلاتيني، مقياس الحرارة ذو الازدواج الحراري وأخيراً مقياس الحرارة المسمى بالبيومتر الضوئي، وتكون بوحدات مئوية أو فهرنهيتية أو مطلقة.

الحرارة Heat أو كمية الحرارة:

الحرارة أو كما يطلق عليها الطاقة الحرارية هي إحدى صور الطاقة التى تنتقل من نقطة لأخرى أو من جسم لآخر نتيجة للاختلاف في درجة الحرارة بين النقطتين أو الجسمين، وكمية الحرارة أو الطاقة الحرارية هي متوسط الطاقة الحركية لجميع جزئيات المادة أو هى مقدار الطاقة الحرارية التى يكتسبها أو يفقدها الجسم وتقاس كمية الحرارة في النظام الفرنسي بوحدة تعرف بالسعر calorie وفى النظام البريطاني تسمى الوحدة البريطانية للحرارة BTU وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة باوند واحد من الماء درجة واحدة فهرنهيتية، وهى تساوى ٢٥٢ كالورى. وهناك وحدة بريطانية تجارية كبيرة تسمى الثيرم therm وهى تساوى $١٠^{٥}$ وحدة بريطانية حرارية وتقاس في النظام الدولي بوحدة الطاقة وهي الجول، ولها عدة تأثيرات منها:

- تأثيرات فسيولوجية مثل الشعور بالدفء
- تأثيرات كيميائية والناتجة عن التسخين
- تأثيرات فيزيائية مثل التمدد، تغير حالة المادة (صلبة، سائلة وغازية)، زيادة المقاومة للوصلات الكهربائية.

أهمية دراسة الحرارة في الحياة العملية:

- تعتبر من أهم العوامل التي تؤثر على توزيع النباتات على سطح الكرة الأرضية.
- لها تأثير مباشر وغير مباشر على الظواهر الجوية مثل البخر، التكثيف، حركة الرياح، تكون السحب، سقوط الأمطار والضغط.
- لها أثر كبير على التجوية الكيميائية والطبيعية للصخور المكونة للقشرة الأرضية وتكوين الأراضي.

- لها تأثير كبير على الحيوانات وطرق التكيف باختلاف المناخات المختلفة.
- لها دور في حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل باستخدام الطرق المناخية.

قياس درجة الحرارة:

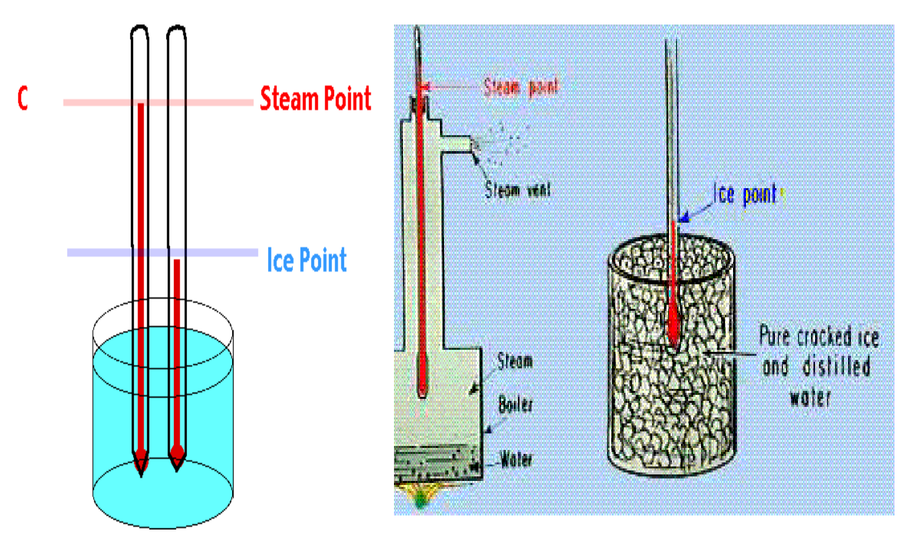
تعطى بعض الأشياء إحساساً بالحرارة أكثر من غيرها ولكن لكى يمكن التعبير كمياً عن مدى ارتفاع حرارة جسم ما عن جسم أخر لا بد من القياس الحرارى وذلك من خلال استخدام خاصية من خواص المادة تتغير تغيراً تدريجياً مع التغير في درجات الحرارة، ومن الخواص الطبيعية التى تتغير مع تغير درجات الحرارة والتى تتوقف عليها فكرة عمل أجهزة القياس الحرارى أو ما يسمى بالترمومترات Thermometers ما يلى:

- تمدد السوائل
- تمدد الغازات

ولعمل تلك الأجهزة اعتماداً على خاصية تمدد السوائل بالتغير في درجات الحرارة نختار نقطتين ثابتتين للترمومتر، الأولى نقطة بداية القياس مثل درجة تجمد الماء النقي تحت الضغط الجوي العادي أما النقطة الثانية نقطة نهاية القياس مثل درجة غليان الماء النقي تحت الضغط الجوي العادي.

الفكرة الأساسية:

هي الفرق في درجات الحرارة بين نقطتي تجمد الماء وتبخره أو غليانه حيث تقسم المسافة بين النقطتين إلى أجزاء متساوية تسمى درجات يقابل كل منه مستوى معين من السخونة أو الحرارة، فإذا وصل مستودع الزئبق بأنبوبة شعرية ووضع هذا المستودع في إناء يحتوى على مخلوط من الماء النقي والثلج بحيث يتصل الإناء مباشرة بالجو (أي تحت الضغط الجوي العادي) فإن ارتفاع الزئبق في الأنبوبة الشعرية يؤخذ عندها على أنه بداية القياس، أما إذا وضع مستودع الزئبق في ماء نقى يغلى تحت الضغط الجوي العادي فإن ارتفاع الزئبق في الأنبوبة الشعرية هذه المرة يؤخذ على أنه نهاية القياس كما يوضحه الشكل التالي.



وتستخدم عدة أنظمة لقياس درجة الحرارة أهمها مقياس أو تدريج السليزيوس (المقياس المئوي C) ومقياس فهرنهايتF ومقياس كلفن K ومقياس كلفن هو المقياس المستعمل في النظام العالمي للوحدات، وهناك وحدة رابعة لقياس درجة الحراة وتعرف باسم الرانكن، وهي مقياس للحرارة المطلقة كما هو الحال بالنسبة للكلفن، ويرمز لها بالرمز R وسميت على اسم العالم الاسكتلندي ويليام رانكن، وسنكتفى هنا بذكر المقاييس الثلاثة الأولى:

والمقاييس هى مدى من الأرقام يستخدم للتعبير عن مستويات من السخونة وتتفق جميعها في ثلاث نقاط أساسية وهى:

١- النقطة الثابتة العليا هى درجة غليان الماء
٢- النقطة الثابتة السفلى هى درجة انصهار الجليد تحت الضغط القياسي
٣- الفترة الأساسية تمثل المدى بين النقطتين الثابتتين العليا والسفلى

النقاط الأساسية	الخاصية	سيلزيوس	كلفن	فهرنهيت
النقطة الثابتة العليا	درجة غليان الماء	١٠٠	٣٧٣	٢١٢
النقطة الثابتة السفلى	درجة انصهار الجليد	صفر	٢٧٣	٣٢
الفترة الأساسية	المدى	١٠٠	١٠٠	١٨٠

١- المقياس أو التدريج المئوي Celsius or Centigrade scale

يعتمد هذا التدريج لقياس درجة الحرارة على نوع مادة السائل وهو الماء فهو يعتمد على نقطة تحول الماء إلى الحالة الغازية والصلبة، في هذا التدريج تسمى نقطة تجمد الماء the ice point بدرجة الصفر المئوي (٠

م°) وتسمى نقطة البخار the steam point بدرجة مائة مئوية (١٠٠ م°) وتقسم المسافة بين هاتين النقطتين إلى مائة جزء يسمى كل منها درجة مئوية.

٢- المقياس أو التدريج الفهرنهيتي Fahrenheit scale

يعتمد هذا التدريج على درجة حرارة الجسم وخليط كلوريد الأمونيوم المشبع والثلج ولكن يختلف عن سابقه أن المسافة ما بين نقطة البداية والنهاية تقسم إلى ١٨٠ درجة حيث تعطى النقطة الأولى القيمة ٣٢ درجة فهرنهيت (٣٢ ف°) أما النقطة العظمى فتأخذ القيمة ٢١٢ درجة فهرنهيت (٢١٢ ف°)، ويستخدم هذا المقياس في الولايات المتحدة الأمريكية فقط.

٣- المقياس أو التدريج المطلق أو تدريج كلفن Kelvin scale

حيث قام العالم كلفن باستخدام الترمومتر المعتمد على التغير في ضغط الغاز ودرس العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لأكثر من غاز ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بانخفاض درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر نظرياً عند درجة حرارة قدرها -٢٧٣ وتم اعتبار هذه الدرجة هى الصفر المطلق وعلى ذلك يكون تدريج كلفن موجب دائماً، ويمكن تعريف الصفر المطلق على أنه درجة الحرارة التى ينعدم عندها الحجم نظرياً عند ثبوت الضغط أو درجة الحرارة التى ينعدم عندها الضغط نظرياً عند ثبوت الحجم، وهى لا تتغير بتغير نوع الغاز وفيه تقسم المسافة ما بين نقطة تجمد الماء ونقطة غليانه إلى ١٠٠ درجة حيث تعطى النقطة الأولى (تجمد الماء) القيمة ٢٧٣ كلفن كما أعطيت النقطة العظمى (درجة غليان الماء) القيمة ٣٧٣ كلفن وتسمى الأجزاء المحصورة بينهما بدرجة كلفن.

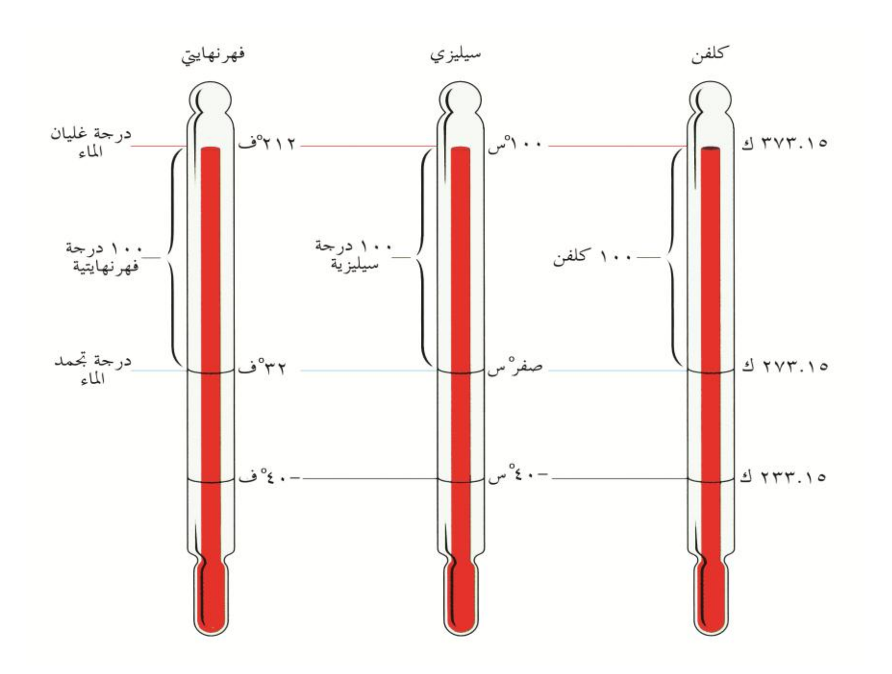
العلاقة بين المقاييس الثلاثة:

يمكن استنتاج العلاقة بين المقاييس الثلاثة كما يلى وكما هو موضح في الشكل التالى :

$$\frac{C-0}{100\ -\ 0}=\frac{F-32}{212-32}=\frac{K-273}{373-273}$$

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{K-273}{100}$$

أو بمعنى آخر فرق الدرجة المقاسة من صفر التدريج مقسوماً على مدى التدريج



التّحويل بين وحدات السليزيوس والكلفن:

– من السليزيوس إلى الكلفن: ك = ٣٧٢ + س

– من الكلفن إلى السليزيوس: س = ك – ٣٧٢

التّحويل بين وحدات الفهرنـهيت و السليزيوس:

– من السليزيوس إلى الفهرنـهيت: ف = (٨.١ × س) + ٢٣

– من الفهرنهيت الى السليزيوس :س = (ف – ٢٣) ÷ ٨.١

التّحويل بين وحدات الفهرنـهايت والكلفن:

– من الفهرنـهيت إلى الكلفن: ك = (٤.٩٥٤ + ف) / ٨.١

– من الكلفن إلى الفهرنـهيت: ف = ٨.١ ك – ٤.٩٥٤

أجهزة قياس درجة الحرارة أو الترمومترات (الموازين الحرارية):

يستخدم فيها الخواص الفيزيائية التى تتغير بشكل ملحوظ ومتكرر وقابل للقياس مع تغير درجة الحرارة ومن هذه الخواص:

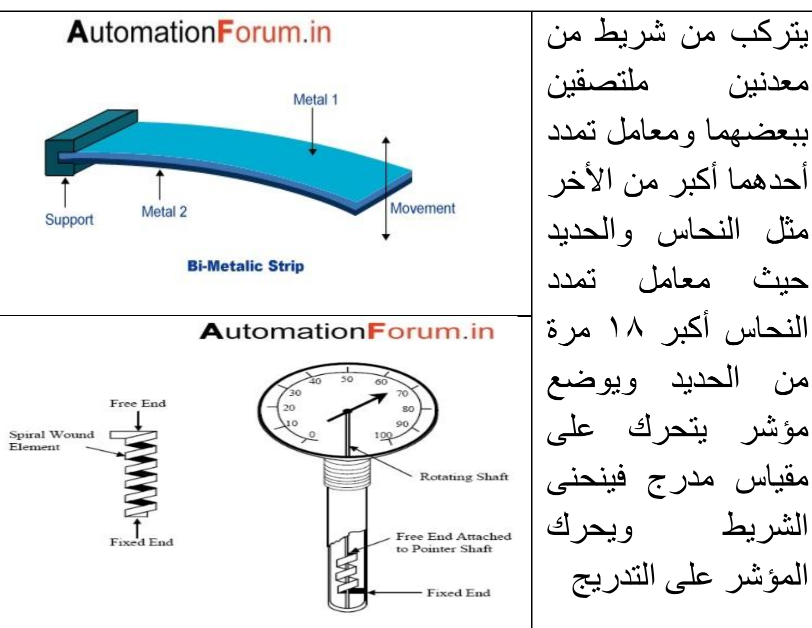
- التغير في طول أو أبعاد الجسم مع درجة الحرارة (dl/ dt)

- التغير في حجم الغاز تحت ضغط ثابت p (dv/dt)

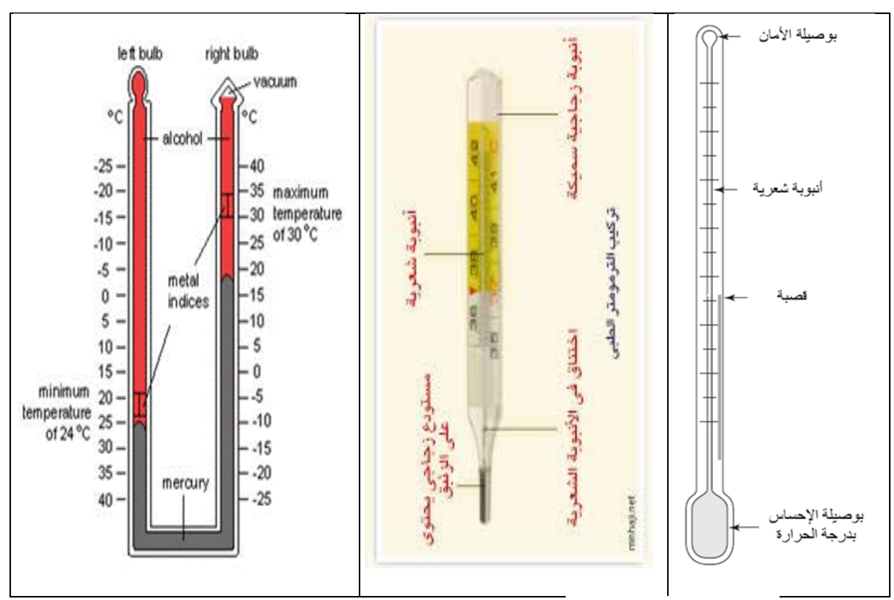
- التغير في ضغط الغاز تحت حجم ثابت v (dp/dt)

- التغير في المقاومة الكهربائية لسلك معدنى مع درجة الحرارة (dR/dt)

- التغير في القوة الدافعة الكهربائية مع درجة الحرارة (dE/dt)
ويمكن تقسيم الترمومترات إلى عدة أقسام تبعاً لطبيعة المادة المستخدمة في تصنيعها كما يلى:
١- الترمومترات المبنية على تمدد المواد الصلبة ومنها:
الترمومتر المعدنى الثنائى bimetallic thermometer

يتركب من شريط من معدنين ملتصقين ببعضهما ومعامل تمدد أحدهما أكبر من الأخر مثل النحاس والحديد حيث معامل تمدد النحاس أكبر ١٨ مرة من الحديد ويوضع مؤشر يتحرك على مقياس مدرج فينحنى الشريط ويحرك المؤشر على التدريج	

٢- الترمومترات المبنية على تمدد السوائل بالحرارة
مثل الترمومتر الزئبقى – الترمومتر الطبى – ترمومتر six



١- الترمومتر الزئبقي

يعتبر من أشهر أنواع الترمومترات وهو عبارة عن انتفاخ زجاجي مملوء بالزئبق متصل بأنبوبة شعرية مفرغة من الهواء حتى لا يعوق تمدد السائل ويحيط بها أيضاً أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء للعزل الحراري ولحماية الأنبوبة الشعرية الداخلية من الكسر، وعند ارتفاع درجة الحرارة يتمدد الزئبق (يزداد حجمه) داخل الأنبوبة الشعرية ويكون مقدار هذا التمدد مقياساً لدرجة الحرارة حيث توجد علامات على جدار أنبوبة الترمومتر تدل على درجات الحرارة. ويتم تحديد النقطة الثابتة السفلى بوضع الترمومتر في ثلج نقى منصهر عند الضغط الجوى العيارى، وتحديد النقطة الثابتة العليا بوضعه في ماء نقى يغلى عند الضغط الجوى العياري، وبمعرفة مكان النقطتين يقسم المدي بينهما إلى ١٠٠ جزء في المقياس المئوي أو إلى ١٨٠ جزء في المقياس الفهرنهيتي وهكذا.

٢- الترمومتر الطبي

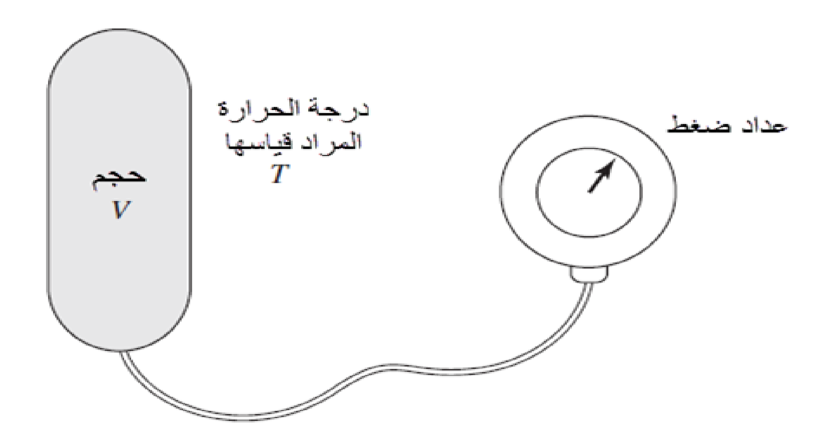
هو نفس الترمومتر الزئبقي ولكن نكتفى هنا بمدى صغير من الفترة الأساسية فبدلاً من أن تكون النقطة الثابتة السفلى صفر تكون ٣٥ درجة والنقطة الثابتة العليا بدلاً من أن تكون ١٠٠ تكون ٤٣ درجة



٣- الترمومترات المبنية على تمدد الغازات أو الترمومتر الغازي

المادة المستخدمة فيه هى الغاز والخاصية التى تتغير مع درجة الحرارة هى الضغط أو الحجم حيث يوجد نوعان من الترمومتر الغازى وهما ثابت الحجم وثابت الضغط ويعملان بين درجة حرارة – ٢٥٣ : ١٥٠٠ درجة مئوية ولكن يعيبه حجمه الكبير مثل ترمومتر جولى July thermometer وتستخدم المعادلة التالية لإيجاد درجة الحرارة

$$t = \frac{ht - h0}{h100 - h0} X\ 100$$



رسم كروكي لترمومتر الغاز المثالي

٤- الترمومترات المبنية على التغيرات الكهربائية بتغير درجة الحرارة

مثل ترمومتر الازدواج الحرارى thermocouple thermometer وتستخدم المعادلة التالية لإيجاد درجة الحرارة

$$t = \frac{et}{e100} X\ 100$$

فعندما يتم توصيل سلكين من معدنين مختلفين ببعضهما فإذا كانت درجة الحرارة مختلفة عند أطراف السلكين فإن تياراً كهربياً يسرى داخل الدائرة تزداد شدته كلما زاد الفرق في درجة الحرارة بين الطرفين، ولذلك يمكن استخدام خاصية القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن فرق درجة الحرارة بين الطرفين كخاصية لقياس درجة الحرارة. وفى التطبيقات العملية للازدواج الحرارى يتم وضع أحد الأطراف في ثلج والطرف الآخر يكون متصلاً بالجسم المراد قياس درجة حرارته.

ويراعى أنه لقياس درجة حرارة في المدى من ٢٢٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية نستخدم سلك من النحاس والآخر من سبيكة النحاس والنيكل.

ولقياس درجة حرارة في المدى أكبر من ١٦٠٠ درجة مئوية نستخدم سلك من البلاتين والآخر من سبيكة البلاتين والراديوم.

ولقياس درجة حرارة في المدى من – ٢٢٠ إلى – ٢٧٠ درجة مئوية نستخدم سلك من الكروميل والآخر من سبيكة الحديد والذهب.

وهناك أيضاً الترمومتر الحرارى الكهربي electro-thermal thermometer وترمومتر المقاومة البلاتيني platinum resistance thermometer وتستخدم المعادلة التالية لإيجاد درجة الحرارة

$$t = \frac{Rt - R0}{R100 - R0} X\, 100$$

ويمكن وضع نوع الترمومترات والمادة المستخدمة والكمية الفيزيائية المتغيرة في الجدول التالي:

م	نوع الترمومتر	المادة	الكمية الفيزيائية
١	الترمومتر السائل	الزئبق أو الكحول	التغير في الطول
٢	الترمومتر الغازي	الهيدروجين	التغير في الضغط
٣	ترمومتر المقاومة	البلاتين	التغير في المقاومة
٤	ترمومتر الازدواج الحرارى	الكروميل والألومنيوم	التغير في الجهد الكهربي
٥	ترمومتر الاشعاع	بايرومتر	التغير في لون الاشعاع
٦	الترمومتر المغناطيسي		التغير في الحساسية

قياس كمية الحرارة:

كما ذكرنا سابقاً أن الحرارة هى صورة من صور الطاقة فعندما نقول أن الجسم أكتسب أو فقد كمية من الحرارة فيمكن أن نقول أن الجسم فقد أو اكتسب كمية من الطاقة، وتعتمد كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة من الجسم على كتلة الجسم، درجة حرارته و الحرارة النوعية للجسم والتى تتوقف على طبيعة المادة التى يتكون منها هذا الجسم، فمثلاً لو أحضرنا خمس كرات متساوية الحجم من مواد مختلفة مثل الرصاص، الزجاج، الألومنيوم، النحاس والحديد ثم رفعنا درجة حرارة تلك الكرات بمقدار ١٠٠ °م باستخدام موقد اشتعال نجد أن الزمن اللازم لذلك يختلف من كرة لأخرى كالتالي: ٣٧، ٥٢، ٦٠، ٨٣ و ٩٠ ثانية على التوالي فالرصاص يحتاج أقل وقت بعكس الحديد الذى يحتاج أكبر وقت، فعلى ذلك فالرصاص يكتسب أقل كمية من الطاقة الحرارية لكى يرتفع درجة حرارته ١٠٠ °م أما الحديد يكتسب أكبر كمية من الطاقة الحرارية لكى يرتفع درجة حرارته ١٠٠ °م، وبالمثل إذا وضعنا الكرات الخمس في نفس الوقت على طبقة رقيقة من شمع البارافين في حوض زجاجي نجد أن كرتي الحديد والنحاس تخترقان هذه الطبقة بسهولة بينما يصعب على كرات الرصاص والزجاج والألومنيوم اختراق تلك الطبقة، أى أنه عند تبريد كل الكرات الساخنة فمن المتوقع أن تفقد كرة الرصاص أقل كمية من الحرارة على عكس كرة الحديد التى تفقد أكبر كمية من الحرارة.

حالات المادة: Matter phases

توجد أربعة حالات للمادة: الصلبة، السائلة، الغازية والبلازما وذلك تبعاً لقوة الارتباط بين جزئيات المادة والمسافات البينية بين تلك الجزيئات.

١- الجامد أو الصلب : Solid or Rigid phase

هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم وشكل ثابتين وقوة التماسك بين جزيئاته كبيرة والمسافة بين ذراته صغيرة مثل النحاس، الصخر والبلاستيك.

٢- السائل: Liquid phase

هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم ثابت وشكل غير ثابت (تأخذ شكل الاناء الذي توضع فيه) لأن قوة التماسك والمسافة بين جزيئاته متوسطة مثل الماء، الزيت والزئبق.

٣- الغاز: gaseous phase

هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم وشكل غير ثابتين (تأخذ حجم وشكل الاناء الذى توضع فيه) لأن قوة التماسك بين ذراته أو جزيئاته ضعيفة أو معدومة مثل الأكسجين، الهيليوم والأوزون.

٤- البلازما : plasma phase

هي الحالة التي تكون فيها ذرات أو جزيئات الغاز في حالة تأين نتيجة درجة الحرارة العالية جداً مثل خط البرق أيضاً شرارة الولاعة (القداحة الكهربائية) في المطبخ، والشرارة التي تخرج عند خلع بعض أنواع الملابس ولحام البلازما.

ويمكن أن تتحول المادة من حالة لأخرى عندما يتغير العاملين السابقين ولحدوث ذلك لابد من توافر طاقة تعمل على تكسير تلك الروابط لتحول المادة، ويمكن توضيح العمليات التى تحدث كما يلى:

عملية الانصهار	تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة
عملية التجميد	تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة
عملية التبخير	تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية
عملية التكثيف	تحول المادة من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة
عملية التسامي	تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة

الطاقة الكامنة للتصعيد Latent heat of evaporation

أو الطاقة الكامنة للغليان وهي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لغليان (لتبخر) وحدة الكتل من مادة ما، أوهى كمية الحرارة اللازمة لتحويل ١ جم من المادة من الصورة السائلة إلى الصورة الغازية دون تغير في درجة الحرارة وتساوى عددياً الحرارة الكامنة للتكثيف وهى للماء ٥٦٠ – ٦٠٠ كالورى ويتم حسابها بالمعادلة التالية:

$$Q = m H_v$$

حيث Q هى كمية الحرارة، m الكتلة ، H_v الحرارة الكامنة للتبخر

مثال: احسب كمية الحرارة اللازمة لتبخير 10 جرام من الماء

الحل:

$m=10\ g \qquad H_v= 2260\ J/g$

$$Q = m\ H_v$$

$$=10 \times 2260 = 22600\ J$$

الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير ١٠ جم من الماء هى ٢٢٦٠٠ جول

الطاقة الكامنة للانصهار: Latent heat of fusion

هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار وحدة الكتل من مادة ما، ويتم حسابها بالمعادلة التالية:

$$Q = m\ H_f$$

حيث Q هى كمية الحرارة، m الكتلة ، H_f الحرارة الكامنة للانصهار

مثال: احسب كمية الحرارة اللازمة لانصهار 10 جرام من الثلج عند درجة صفر سليزيوس

الحل:

$m=10\ g \qquad H_f =334\ J/g$

$$Q = m\ H_f$$

$$=10 \times 334 = 3340\ J$$

الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار ١٠ جم من الثلج هى ٣٣٤٠ جول

بعض التعبيرات المرتبطة بالخواص الحرارية:

١- **السعر Calorie**

يعرف على أنه كمية الحرارة اللازمة لتغير درجة حرارة ١ جم من الماء درجة واحدة مئوية

٢- **الحرارة النوعية لجسم (S) Specific heat**

هى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة (١ كيلوجرام) من المادة درجة مئوية واحدة (أو مطلقة) وبذلك تكون وحدة قياسها هي: جول / كجم.ْم أو جول /كجم. كلفن. وتتوقف هذه القيمة على نوع المادة ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$S = \frac{Q}{m\,\Delta t} \qquad : Q = Sm\Delta t$$

٣- الحرارة النوعية للماء Specific Heat of Water

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة وهي قيمة ثابتة مقدارها ٤.١٨٠ كالورى/جم. ^{o}م. أو ٤١٨٠

جول /كجم. ْم وسبب اختلاف الحرارة النوعية من مادة إلى أخرى يعود إلى مدى تراص وترابط ذرات المادة ومن ثم قدرتها على احتواء للحرارة. والجدول أدناه يبين الحرارة النوعية لبعض المواد:

المادة	الحرارة النوعية جول /كجم. ْم	المادة	الحرارة النوعية جول /كجم. ْم
الماء	٤١٨٠	نحاس	٣٨٩
زيت الزيتون	١٩٧١	فضة	٢٣٤
ألمنيوم	٨٩٥	الزئبق	١٣٩
زجاج عادي	٨٣٢	الذهب	١٢٥

٤- **السعة الحرارية لجسم** Heat capacity

هى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتغير درجة حرارة الجسم كله درجة واحدة مئوية ووحداتها سعر/ جم أو جول / كلفن، ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \qquad : Q = C\,\Delta t$$

ومن المعادلتين السابقتين نجد أن:

$$Sm\Delta t = C\,\Delta t \qquad : \; C = Sm$$

أى أن السعة الحرارية لجسم = الحرارة النوعية له × كتلة هذا الجسم، ويلاحظ من المعادلة الأخيرة أن السعة الحرارية للمادة تختلف باختلاف كتلة الجسم أى أنها ليست صفة من صفات المادة بينما الحرارة النوعية للمادة خاصية فيزيائية لها أى أنها صفة من صفات المادة.

مثال: احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ٣ لتر من الماء من ١٠ إلى ٦٠ سليزيوس.

الحل:

الحرارة النوعية للماء (C) = ٤١٨٠ جول/ كجم. ^{o} م

حجم الماء = كتلة الماء = ٣ لتر = ٣ كجم

$$Q = m\,C\,(T_f - T_i)$$

$$= 3 \times 4180 \times (60-10) = 627\ kJ$$

وعلى ذلك تكون الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين هذا الماء ٥٠ درجة سليزيوس ٦٢٧ كيلو جول

٥- المكافئ المائي لجسم Water equivalent

هو وزن الماء الذى له نفس السعة الحرارية للجسم

٦- المكافئ الميكانيكي للحرارة Mechanical equivalent of heat (J)

هو كمية الشغل الميكانيكي اللازم بذله لإنتاج وحدة واحدة حرارية فهو يعتبر النسبة بين الشغل (W) وكمية الحرارة الناتجة عنه (Q)

$$J = \frac{W}{Q}$$

وقد أكد العالم Joule في تجاربه أن كمية ثابتة من الشغل المبذول ينتج عنها دائماً كمية ثابتة من الحرارة، وهذا يعنى أن النسبة بين الشغل والحرارة الناتجة عنه نسبة ثابتة لا تتوقف على نوع الشغل المطبق وقد تمكن من تحديد قيمة هذا الثابت وهو يساوى ٤.١٨ جول/ كالورى = ٤.١٨ × ١٠ ^٧^ ارج، ويسمى بالمكافئ الميكانيكي الحرارى أو مكافئ جول.

٧- الحرارة النوعية الذرية للفلز (المعادن)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المول الواحد من المادة أو الفلز درجة واحدة مئوية.

وقد اتفق على تسمية الكتلة الجزيئية الجرامية لأى مادة مقدرة بالكيلوجرام بالمول من هذه المادة، فمثلاً الكتلة الجزيئية للماء ١٨ وتكون الكتلة الجزيئية الجرامية = ٠.٠١٨، أما الكتلة الذرية للعنصر تساوى الوزن الذرى للعنصر، فمثلاً الوزن الذرى للألومنيوم ٢٧ وتكون الكتلة الجزيئية الجرامية له = ٠.٠٢٧

وعلى هذا تكون الحرارة النوعية الذرية لفلز = الحرارة النوعية للفلز × المول له

الحرارة النوعية الجزيئية لمادة = الحرارة النوعية للمادة × المول لها

طرق تعيين الحرارة النوعية للمواد:

١- بمعلومية الجاذبية الأرضية Gravitational method

حيث يتم قياس درجة الحرارة الابتدائية لبرادة الحديد t_1 ودرجة الحرارة النهائية t_2 بعد قلب الأنبوبة ١٠٠ مرة وعلى ذلك يكون التغير في درجة الحرارة Δt هو الفرق بين الدرجتين، وبحساب المسافة الكلية التى تتحركها برادة الحديد في المرة الواحدة (d) وبتطبيق قانون الشغل المبذول بواسطة برادة الحديد والذى يساوى كمية الحرارة المكتسبة كالتالى:

الشغل= القوة × المسافة

= الكتلة × عجلة الجاذبة الأرضية × المسافة × عدد مرات قلب الأنبوبة

$$W = F * d = m * g * d * N$$

وحيث أن الشغل المبذول = كمية الحرارة المكتسبة تكون

$$m * g * d * N = m * S * \Delta t$$

$$S = \frac{g * N * d}{\Delta t}$$

مثال: احسب الحرارة النوعية لبرادة الرصاص باستخدام عجلة الجاذبية الأرضية إذا كان الارتفاع في درجة الحرارة Δt =٧.٥ كلفن وكان طول المسار الذى تسقط فيه برادة الرصاص في المرة الواحدة ٠.٩٥ م وعجلة الجاذبية ١٠ م/ ث٢ وعدد مرات قلب الأنبوبة ١٠٠ مرة.

الحل:

$$S = \frac{g * N * d}{\Delta t}$$

= ١٠ × ١٠٠ × ٠.٩٥ / ٧.٥ = ١٢٦.٧ جول/ كجم. كلفن

٢- طريقة الخلط Mixing method

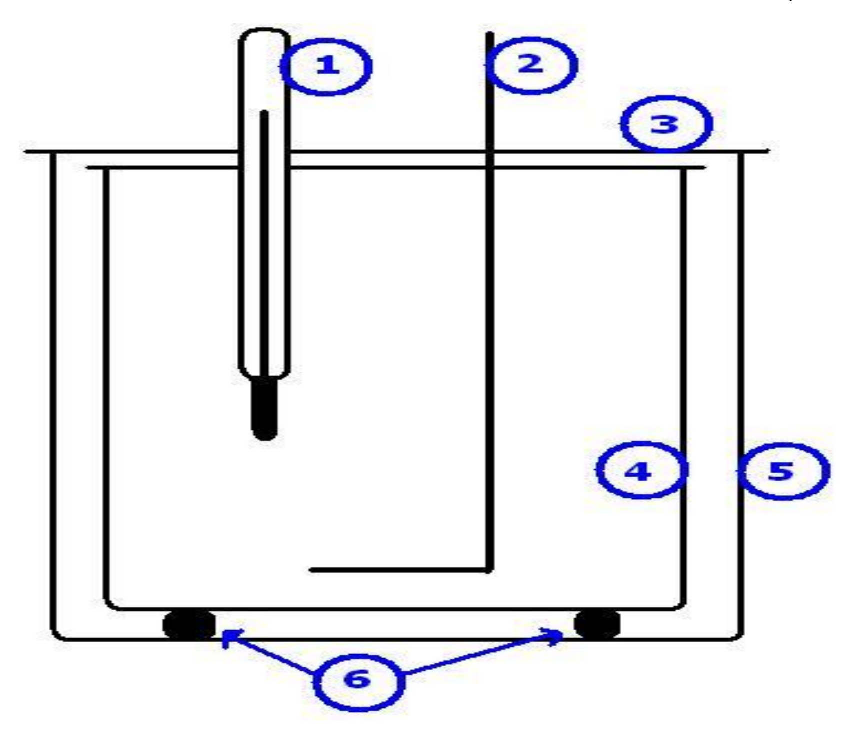
تعتمد فكرة هذه الطريقة على أنه إذا تلامس جسمان أحدهما ساخن والأخر بارد فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد إلى أن تتساوى درجة حرارتهما، وباستخدام قانون بقاء الطاقة الحرارية فإن كمية الحرارة المفقودة من الجسم الساخن تساوى كمية الحرارة التى يكتسبها الجسم البارد، وبالتالي يكون:

$$m\, S\, (t - t_2) = m_1\, S_1\, (t_2 - t_1) + m_2\, S_2\, (t_2 - t_1)$$

$$S = \frac{(t2 - t1)\, m1\, S1 + m2\, S2}{m\, (t - t2)}$$

وتكون وحداتها كالورى / جم . ^{o}م أو جول / كجم . كلفن

حيث S= الحرارة النوعية للجسم الصلب، S1= الحرارة النوعية للمسعر، S2 = الحرارة النوعية للماء ، m = كتلة الجسم ، m1 = كتلة المسعر، m2 = كتلة الماء، t = درجة الحرارة الابتدائية للجسم الصلب، t1 = درجة الحرارة الابتدائية للماء والمسعر، t2 = درجة الحرارة النهائية للخليط.



رسم توضيحي للمسعر:

١) ترمومتر ٢) سلك للتقليب ٣)غطاء عازل

٤) وعاء داخلي (معزول) ٥) وعاء خارجي ٦) عوازل حرارية

مثال: مسعر من النحاس وزنه ٣٥.٢ جم وبه ١٠٥ جم من الماء في ١٦ ^{o}م اسقط فيه مكعب من الرصاص في ١٥٠ ^{o}م فإذا كان طول المكعب ٢ سم وكثافة الرصاص ١١.٤ جم/ سم^٣ وحرارته النوعية ٠.٠٣١ فما هى درجة الحرارة النهائية للخليط علماً بأن الحرارة النوعية للنحاس ٠.٠٩٣

الحل:

كمية الحرارة التى يفقدها المكعب (Q1)

$$Q1 = mS\ (t1 - t2) = 2*2*2*11.4 * 0.031 * (150 - t2) = 424.5 - 2.82\ t2$$

وبالمثل كمية الحرارة التى يكتسبها المكعب والمسعر (Q2)

$$Q2 = (35.2 * 0.093 + 105 * 1)\ (t2 - 16)$$

وبمساواة القيمتين

$$424.5 - 2.82\ t2 = 108.3\ t2 - 1732.4$$

$$t2 = 19.4\ ^{o}c$$

٣- الطريقة الكهربية

وتعتمد فكرتها على أنه إذا مر تيار كهربي شدته (I) أمبير في ملف تسخين عليه فرق جهد (V) فولت فإن الطاقة الكهربية (E) المارة في زمن قدره t ثانية تساوى $E = VIt$ أو $E= RI^2t$ حيث $V= RI$ ، R هى المقاومة، ولتحويل هذه الطاقة الكهربية إلى وحدات حرارية تقسم على المكافئ الميكانيكي للحرارة كما يلى:

$$Q = \frac{E}{J} = \frac{VIt}{J}$$

ونستخدم القانون التالي لإيجاد الحرارة النوعية لسائل بطريقة كهربية:

$$Q = \frac{VIt}{J} = (m1\ S1 + m2\ S2)(\ \theta2 - \ \theta1)$$

تعيين الحرارة النوعية لسائل:

تتوقف كمية الحرارة التى يفقدها جسم ساخن إذا وضع في وسط بارد أو بمعنى أخر يتوقف معدل التبريد لجسم ساخن على عدة عوامل منها: الفرق بين درجتي حرارة الوسط والجسم، المساحة المعرضة من الجسم للإشعاع ونوع السطح المشع وطبيعته، ويعتبر هذا التقدير تطبيقاً عملياً على قانون التبريد لنيوتن، وتتلخص الطريقة العملية فيما يلى:

في هذه التجربة يجب مراعاة أن يكون لدينا عدد اثنين مسعر حراري من نفس المعدن ولهما نفس الأبعاد وأن يكونا مصقولين بعناية، ثم نقوم بوضع سائلين مختلفين فيهما، أحدهما يكون معروف حرارته النوعية (الماء علي سبيل المثال)، بينما يكون الآخر غير معروف حرارته النوعية ثم نقوم

بتسخين السائلين حتي درجة حرارة معينة، ثم يتم تركهم حتي يبردوا، نسجل درجة الحرارة المقروءة كدالة في الوقت، ونقوم بعمل رسم بياني يوضح العلاقة بين الوقت ودرجة الحرارة المسجلة، فإذا تطابق النطاق الحراري لكلا السائلين، فإن متوسط معدل الحرارة سيكون متطابقاً، بالرغم من أن معدل الهبوط في درجات الحرارة لا يكون متطابقاً، إذا علمنا معدلات الهبوط في درجات الحرارة من خلال منحنيات التبريد للسائلين، بذلك نستطيع أن نجد تفسيراً لمعدلات نقص الحرارة، وبالتالي نستطيع حساب الحرارة النوعية للسائل غير المعروف.

قانون نيوتن للتبريد:

ينص على أن معدل التبريد لجسم ساخن يتناسب مع الفرق في درجة الحرارة بين الجسم و الوسط المحيط به

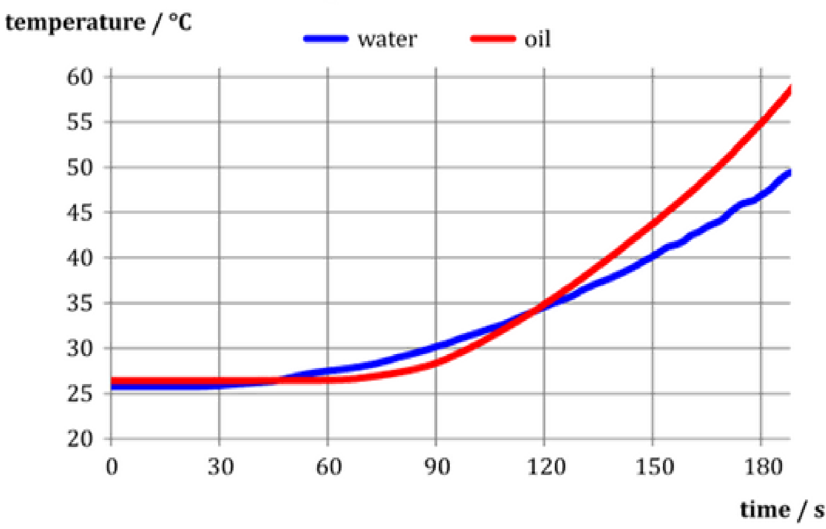
إذا وضع جسم ساخن في وسط بارد وترك ليبرد فإن معدل التبريد للجسم الساخن يتناسب طردياً مع الفرق بين درجتى حرارة الجسم والوسط، وهذا منطوق قانون نيوتن للتبريد .

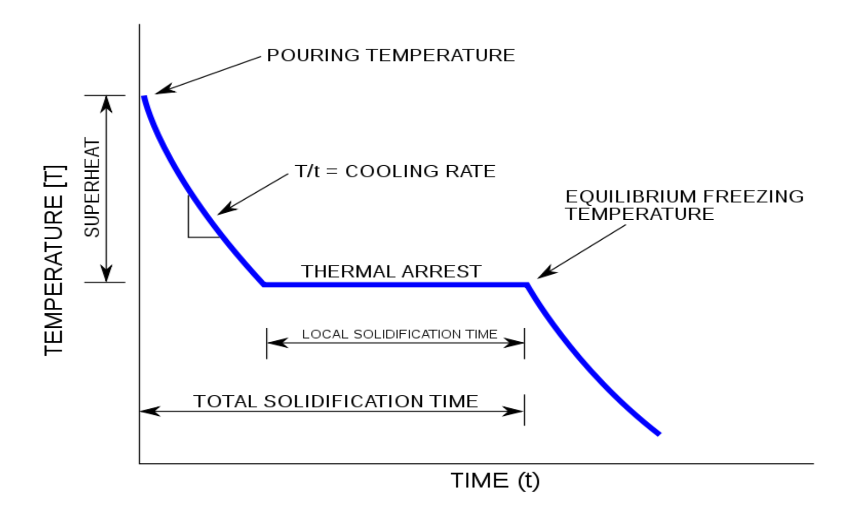
ولكن معدل التبريد للجسم = كتلة الجسم × حرارته النوعية × فرق درجات الحرارة.

أى أن معدل الفقد في كمية الحرارة للجسم يتناسب مع معدل انخفاض درجة حرارته، وعليه يمكن التعبير عن قانون نيوتن للتبريد بأن معدل الانخفاض في درجة حرارة الجسم الساخن يتناسب مع الفرق بين درجة حرارة الجسم والوسط المحيط عند لحظة القياس.

ولتحقيق قانون نيوتن للتبريد نسخن مقداراً من سائل ثم نتركه يبرد وتدون درجة حرارته كل نصف دقيقة ويتم رسم العلاقة بين درجة الحرارة والزمن وبرسم مماس للمنحنى عند نقطة ما يكون ميله هو معدل الانخفاض في درجة الحرارة عند هذه النقطة، وبعمل ميل لمماسات للمنحنى عند نقاط متعددة وبرسم العلاقة بين معدل الانخفاض في درجة الحرارة والفرق في درجة حرارة الجسم عند النقاط المناظرة نجد أنها خطاً مستقيماً وهذا ما يحقق قانون نيوتن للتبريد.







التدفق الحراري وطرقه:

تنتقل الطاقة الحرارية بين جسمين أو نقطتين بينهما فرق في درجات الحرارة (Δt) ببعض أو كل الطرق التالية:

١- التوصيل Conduction

٢- الحمل Convection

٣- الاشعاع Radiation

١- التوصيل الحراري هو عملية انتقال الحرارة عن طريق التصادم بين جزئيات المادة الغير منتقلة ببعضها عن طريق التلامس أو الخلط، مثل

تسخين الملعقة بوضعها في الشاي الساخن، أو خلط ماء بارد وماء ساخن، فعند اكتساب جسم طاقة حرارية من أحد أطرافه فإن الجزيئات تكتسب هذه الطاقة وتتحول إلى طاقة حركة تتسب في زيادة سعة الحركة التذبذبية للجزيئات وتحدث تصادمات بين الجزيئات المتجاورة وبعضها البعض فتكتسب طاقة تنتقل إلى جزيئات أخرى وهكذا تنتقل الحرارة من نقطة إلى أخرى دون أن تنتقل الجزيئات نفسها ويحدث التوصيل في الأجسام الصلبة والسائلة والغازية ولكن بدرجات مختلفة، ويمكن حساب التوصيل الحرارى من المعادلة التالية:

$$\mathrm{H} = k\,\frac{A\;t\;(T1 - T2)}{L}$$

حيث:

H = كمية الحرارة المنتقلة خلال زمن t

(T2 – T1) = الفرق في درجات الحرارة

A = مساحة المقطع

L = الطول أو المسافة بين النقطتين

k = معامل التوصيل الحرارى وهو يتوقف على نوع المادة التى تنتقل فيها الحرارة ويمكن تعريفه على أنه كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل في الثانية الواحدة خلال وحدة المساحات من أحد وجهى اسطوانة منتظمة طولها الوحدة والفرق بين درجتي حرارة طرفيها الوحدة عندما تكون في حالة الثبات الحرارى ووحداته: (جول/ م. ث. ^{o}م) أو (سعر/ سم. ث. ^{o}م). وتعتبر الفلزات مثل الذهب – الفضة – النحاس – الألومنيوم – الرصاص – الحديد) مواد جيدة التوصيل للحرارة، بينما اللافلزات عموماً رديئة التوصيل للحرارة وأيضاً الخزف – الزجاج – الفلين – الجليد – الماء – الهواء مواد رديئة التوصيل للحرارة.

٢ - الحمل الحراري هو عملية انتقال الحرارة عن طريق التصادمات بين جزيئات المادة المنتقلة حيث تحدث حركة للجزيئات داخل المادة وتنتقل معها الطاقة الحرارية من مكان لأخر عن طريق تصادم الجزيئات بعضها ببعض، مثل انتقال الماء الساخن من قعر الإناء إلى أعلاه وانتقال التيارات الهوائية والمائية من خط الاستواء إلى القطبين. ويحدث انتقال الحرارة بالحمل في الموائع (السوائل والغازات) حيث تكون الجزيئات قابلة للحركة

والحمل نوعان (حمل حر وحمل اضطراري او قصرى) ففى الحمل الحر تكون حركة الجزيئات رأسية فالجزيئات الساخنة تقل كثافتها وتصعد لأعلى ويحل محلها جزيئات باردة ذات كثافة أكبر وتتكون بذلك تيارات الحمل، أما الحمل الاضطراري فتجبر الجزيئات على الحركة بفعل مؤثر خارجي مثل مرور تيار هوائي فوق الجسم أو تحرك الجسم نفسه وكمثال على ذلك استخدام الهواء في التبريد (المراوح) واستخدام الماء أو الزيوت في التبريد.

٣- الاشعاع الحراري هو عملية انتقال الطاقة الحرارية عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية في مدى الاشعاع الحرارى (الأشعة تحت الحمراء)، فهو انبعاث للطاقة فى صورة موجات كهرومغناطيسية من جميع الأجسام التى تزيد درجة حرارتها عن صفر كلفن (0 K)، مثل انتقال الحرارة من الشمس إلى الأرض أو الأشعة تحت الحمراء الصادرة عن الماء الساخن، ويمكن أن يحدث الاشعاع الحرارى في الفراغ حيث لا يحتاج إلى وسط مادى وتنتقل الحرارة على هيئة موجات كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء مثل الاشعاع الضوئي لكنها تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء والتى تعمل على رفع درجة الحرارة عند امتصاصها على عكس انتقال الحرارة بالتوصيل أو الحمل حيث يلزم لانتقال الحرارة وجود وسط مادى.

وتختلف خواص الأجسام من حيث الامتصاص والانعكاس والنفاذية بالنسبة للإشعاع الحرارى، فمن المعلوم أنه إذا سقطت طاقة حرارية على جسم فإن جزءاً منها يمتص وجزء ينعكس والباقي ينفذ خلاله وتعتمد هذه الكميات على طول الموجة للأشعة الحرارية، ويمكن تعريف المصطلحات التالية:

قوة الامتصاص لسطح ما: هى نسبة ما يمتصه هذا السطح من الاشعاع الساقط عليه وأكبر قيمة لها هى الوحدة وهى للفحم

قوة الانبعاث لسطح ما: نسبة ما تشعه وحدة المساحات من هذا السطح في الثانية الواحدة وأكبر قيمة لها هى أيضاً الوحدة وهى للفحم

الجسم تام السواد Black body

ويعرف على أنه السطح المثالي الذى يمتص الاشعاع في جميع أطوال موجاته امتصاصاً كاملاً، ومن الناحية العملية لا يوجد جسم أسود مثالي.

قوانين الاشعاع الحرارى:

- **قانون كيرشوف Kirchoff 's law**

ينص على أن النسبة بين قوة الانبعاث إلى قوة الامتصاص واحدة لجميع الأجسام في نفس درجة الحرارة

- **قانون ستيفان Stefan 's law**

ينص على أن معدل اشعاع الحرارة أو امتصاصها لوحدة المساحات بواسطة جسم أسود يتناسب لجميع الأطوال الموجية مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة وطبقا لذلك تكون الطاقة المنبعثة من جسم ما (J_t) تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة T لسطح الجسم ويكتب القانون كما يلى:

$$J_t = \varepsilon \sigma T^4$$

ويمكن كتابته أيضاً على الصورة التالية:

$$\frac{dH}{dt} = \sigma A T^4$$

حيث:

σ = ثابت ستيفان وهو مقدار ثابت يساوى (5.67×10^4 watt/ m^2. K^4)

ε = معامل الانبعاث وهو يساوى الوحدة فى حالة المشع الجيد (السطح الأسود).

$\frac{dH}{dt}$ = الطاقة الحرارية التى تشع في وحدة الزمن من وحدة السطوح A لجسم أسود درجة حرارته المطلقة T

- **قانون فين Wien's law**

يتوقف توزيع طول الموجة للطاقة المنبعثة على درجة الحرارة المطلقة، ويمكن أن نحصل على طول الموجة لأقصى شدة إشعاع λm من العلاقة الآتية:

$$\lambda m = 2900/ T$$

حيث λm بالميكرون

وحيث أن هناك تداخل صغير جدا بين مدى طول الموجة من الأرض والشمس فإنه من المعتاد للتفريق بينهما أن نطلق على الإشعاع القادم من الشمس إشعاع قصير الموجة Short wave radiation والإشعاع الصادر من الأرض إشعاع طويل الموجة Long wave radiation

مصادر الطاقة الحرارية: Thermal energy sources

- الطاقة الشمسية solar energy
- التفاعلات الكيميائية chemical reactions
- الطاقة الكهربية electrical energy
- الطاقة الميكانيكية mechanical energy
- الطاقة الذرية atomic energy

وأهم مصادر الحرارة على الأرض هى الطاقة الشمسية

أنواع الأشعة الشمسية:

يميز العلماء ثلاثة أنواع من الأشعة التي يتألف منها الإشعاع الشمسي والتي تشمل أو تتكون من:

أولاً: الأشعة الكيميائية Chemical rays وتمثلها الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet وتسمى أيضاً (الأشعة الحيوية) وهي غير مرئية وتقدر نسبتها بنحو (١٣%) من جملة الإشعاع الشمسي ويختلف طول موجتها من (٠.١٧ – ٠.٤٠) ميكرون وأهمية تلك الأشعة:

١- تستخدم في تعقيم المعامل لقدرتها على قتل الميكروبات
٢- تفيد في حمامات الشمس وتتفاعل مع الدهون تحت الجلد وتكون فيتامين د
٣- تستخدم في احداث طفرات فى النباتات لإنتاج سلالات جديدة

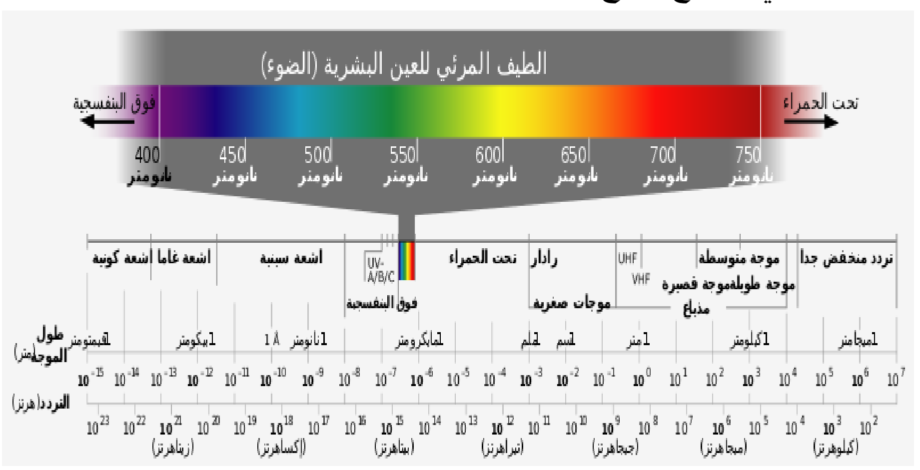
ثانياً: الأشعة الضوئية Optical rays المسماة مرئية وهي في الحقيقة غير مرئية، فأشعة الشمس وبها ما يسمى الضوء المرئي مثلاً تخترق الفضاء الكوني من غير أن نراها، ولكنها تنير الوسط المادي الشفاف التي تتناثر فيه مثل غلافنا الجوي أو تنعكس منه مثل سطح القمر والتشتت أو التناثر هو السر في إنارة الجو بضوء النهار مع العلم أنه يمكن تحليل الضوء بمنشور زجاجي إلى مكوناته الأساسية وتقدر نسبة الأشعة الضوئية بنحو ٣٧% من جملة الإشعاع الشمسي، ويمثلها الضوء المرئي Visible light ويتراوح طول موجاتها من (٠.٤٠- ٠.٧٤) ميكرون، وتزداد قوة الأشعة الضوئية على سطح الأرض في وقت الظهيرة أثناء النهار في فصل الصيف، وأهمية تلك الأشعة:

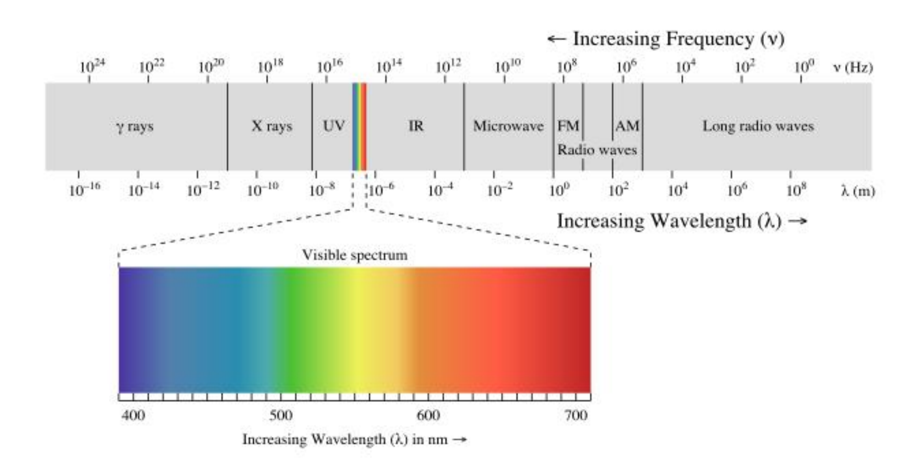
١- لازمة لتزهير النباتات وعملية التمثيل الضوئي
٢- الضوء الأزرق أساس في عملية البناء الضوئي
٣- الضوء الأحمر أساس في حياة النباتات حيث يقوم الكلوروفيل باستخدامه في بناء الكربوهيدرات والأزهار

ثالثاً: الأشعة الحرارية Thermal rays وهي غير مرئية وتقدر نسبتها بنحو (٥٠ %) من جملة الإشعاع الشمسي ويتراوح طول موجاتها من (٠.٧٥- ٤.٠) ميكرون وتلعب دوراً هاماً في النشاط بأسره، ويمثلها الأشعة تحت الحمراء Infrared وأهمية تلك الأشعة:

١- لازمة لحدوث التوازن الحرارى بين الأرض والغلاف الجوي
٢- لازمة لنمو البادرات والنباتات
٣- تستخدم في تحلية مياه البحار والسخانات والمواقد الشمسية وتوليد الطاقة الكهربائية

والشكل التالي يوضح أنواع الأشعة وأطوالها الموجية





المجالات التطبيقية لنظريات الحرارة في الحياة العملية

هناك مجالات تطبيقية مهمة وخصوصاً في المجال الزراعي لنظريات الحرارة منها أنظمة التنظيم والتحكم في درجات الحرارة أو ما يسمى الثرموستات thermostats (هى أداة تحاول على الدوام الحفاظ على درجة حرارة معينة للبيئة التى تعمل فيها) والغرض من استخدام تلك الأجهزة هو الحفاظ على درجة الحرارة ثابتة سواء في أفران التجفيف أو الثلاجات أو حضانات البيض أو حضانات البكتريا ....إلخ. وتعتمد الفكرة الأساسية للثرموستات في تلك الأجهزة على أن التغير في درجة الحرارة يعمل على تمدد السوائل وبالتالي يتغير حجمها مما يتيح الفرصة للتحكم في الفتحات كما في فكرة تنظيم دخول غاز الاستصباح (الغازات التى تستخدم في الاضاءة بإشعالها) أو على أساس التغير في تمدد المواد المعدنية بالتغير في درجة الحرارة كما في منظمات الازدواج أو تنظيم الحرارة عن طريق الكبسولة وسنذكر هنا بعض التطبيقات للفيزياء العامة في المجال الزراعي:

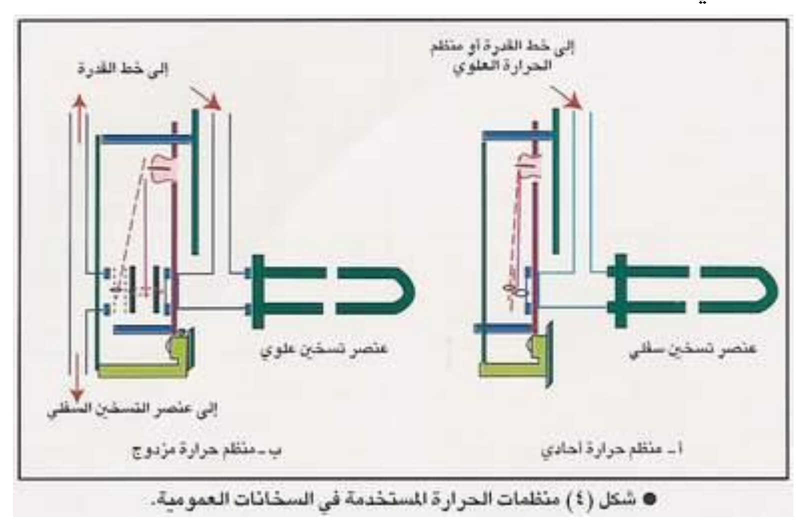
١- منظم دخول غاز الاستصباح

وتعتمد فكرته الأساسية على وجود مستودع للزئبق متصل بأنبوبة خروج الغاز فعندما ترتفع درجة الحرارة يتمدد الزئبق حتى تقل المسافة بين سطح الزئبق وأنبوبة خروج الغاز ويمكن التحكم في كمية الغاز عن طريق مسمار خارجي



٢- منظم الحرارة الكهربائي

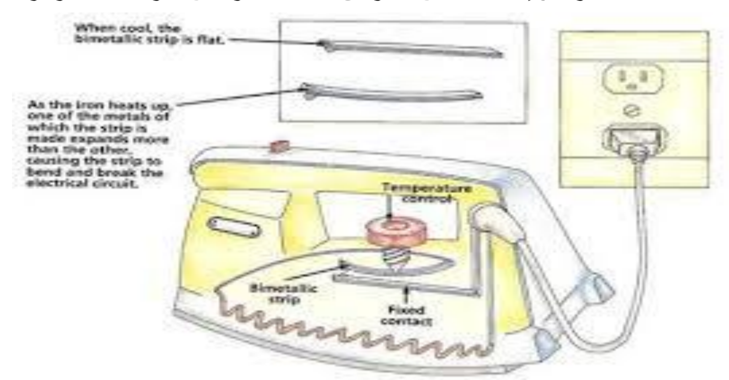
أيضاً تعتمد فكرته الأساسية على تمدد الزئبق الموضوع في أنبوبة مستودع يتصل طرفه بمسمار يتصل بسلك يتصل بحافظة أسفلها ملف يعمل كمغناطيس ويتصل الزئبق بمصدر كهربي يعمل على تنشيط المغناطيس، فعند ارتفاع درجة الحرارة يتمدد الزئبق فيلامس سطح الزئبق السلك فتتم الدائرة ويعمل المغناطيس فيقطع التيار عن دائرة مقاومة التسخين وعندما يبرد الزئبق يصل التيار وهكذا يستمر انقطاع واتصال التيار في دائرتين.



● شكل (٤) منظمات الحرارة المستخدمة في السخانات العمومية.

٣- منظم الازدواج

يحتوي الثرموستات التقليدي على ساقين من نوعين مختلفين من المعادن (مثلاً بزمونت – أنتيمون) مثبتتين معاً لتشكيل ما يسمى بالشريط ثنائي المعدنbimetallic strip يعمل ذلك الشريط كجسر في دارة كهربائية متصلة بنظام التدفئة؛ ففي الحالة العادية عندما يكون الجسر للأسفل يمرر الشريط الكهرباء خلال الدارة وتكون التدفئة قيد التشغيل وعندما يسخن الشريط يتمدد أحد المعدنين أكثر من الآخر إلى أن ينحني الشريط بأكمله بشكل ملحوظ ودقيق، وفي نهاية المطاف ينحني لدرجة أنه يقطع الدارة تماماً كما لو أن الجسر قد ارتفع، فتتوقف عملية التدفئة بعد ذلك، وبينما تبرد الغرفة يبرد الشريط أيضاً وينحني رجوعا إلى شكله الأصلي، وعاجلا أم آجلا سيستقر مرة أخرى ليتيح إغلاق الدارة، ويمرر الكهرباء وبالتالي ستعمل التدفئة مجدداً، ويمكنك تغيير درجة الحرارة التي يتم فيها تشغيل الدارة وإيقافها عن طريق ضبط قرص درجة الحرارة.



٤- تنظيم الحرارة بالكبسولة المنظمة:

تعتمد أساساً على وجود علبة معدنية صغيرة بها سائل يعمل عند ارتفاع الحرارة من زيادة ضغط البخار بها فتزيد المسافة بين سطحيها العلوى والسفلى حيث يثبت الجزء السفلى في الجهاز المراد ضبط درجة حرارته أما السطح العلوى يتصل بعدد من الروافع تعمل على قطع التيار وعندما ينقطع التيار يتوقف عمل المقاومة وتنخفض درج الحرارة للقدر الذى يقل فيه حجم الكبسولة ثانياً وتبدأ عملية التسخين وهكذا.

الشمس والطاقة الشمسية

الشمس أو قلب المجموعة الشمسية هي النجم الأقرب إلى الأرض حيث يبعد عن الأرض ١٥٠ × ١٠ ٦ كيلو متر والتي تقّدر ب ٢٦٠٠٠ سنة ضوئية يقطعها الضوء في زمن قدره ٥٠٠ ثانية بسرعة ٣ × ١٠ ٨ م/ث ويقدر عمر هذا النجم ب ٤.٥ مليار سنة، تعتبر الجاذبية الضخمة الموجودة في الشمس مسئولة عن ثبات المجموعة الشمسية بحيث تثبت كل مكونات المجموعة الشمسية من الكواكب الكبيرة وإلى الأجزاء الصغيرة كل في مداره.

مصدر الطاقة الشمسية:

الطاقة الشمسية أو ما يسمى بالإشعاع الشمسي Solar energy هي الطاقة المنبعثة من أشعة الشمس بشكل رئيسي على شكل حرارة وضوء وهي نتاج التفاعلات النووية داخل النجم الأقرب إلينا وهو الشمس، وتقدر درجة الحرارة في جوف الشمس ١٣ مليون درجة كلفن كما يقدر ضغط الغازات في باطنها بعدة تريليونات قدر الضغط الجوي ولهذه الطاقة أهمية كبيرة في الكرة الأرضية والكائنات الحية الموجودة على سطحها وتعتبر كمية هذه الطاقة الناتجة تفوق بكثير متطلّبات الطاقة الحالية في العالم بشكل عام، وإذا تم تسخيرها واستغلالها بشكل مناسب فقد تلبي جميع احتياجات الطاقة المستقبلية.

خواص الطيف الشمسي:

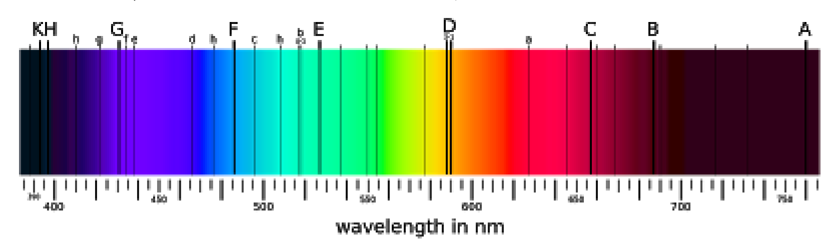
١- عند سقوط أشعة الشمس على منشور من الكوارتز يمكن استقبال ألوان الطيف السبعة (الأحمر – البرتقالي – الأصفر – الأخضر – الأزرق – النيلي - البنفسجي) على حائل ويكون الأحمر هو أقرب ألوان الجزء المنظور من الطيف الشمسي إلى رأس المنشور وأقلها تردداً ويكون البنفسجي أقربها إلى قاعدة المنشور وأعلاها تردداً.

٢- إذا تم استقبال الطيف الشمسي على لوح فوتوغرافي حساس نلاحظ بعد تحميض اللوح وتثبيته امتداد الأثر الفوتوغرافي إلى ما قبل اللون الأحمر وما بعد اللون البنفسجي، وهذا يدل على وجود طيف غير منظور هو الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية والتي يمتصها الزجاج العادي

٣-عند فحص الطيف بجهاز الاسبكتروميتر (مقياس الطيف) فإنه يمكن ملاحظة عدد كبير من الخطوط المظلمة تسمى خطوط فرانهوفر.

تقسيم وجود خطوط فرانهوفر في الطيف الشمسي:

عند مرور الاشعاع الشمسي في الجو المحيط بالشمس والتي تبلغ درجة حرارته ٦٠٠٠ درجة مطلقة فإن الغازات والأبخرة التي يحتويها هذا الجو تمتص خطوط الطيف المميزة لها، بمعنى أن كل عنصر يمتص أشعة ضوئية بأطوال موجية مميزة لهذا العنصر طبقاً لقانون كيرشوف والذى ينص على أن "العنصر الذى يشع ضوء ذا طول موجى معين وفى درجة حرارة معينة يمكن أن يمتص الضوء الذى له نفس طول الموجة عندما يكون في نفس درجة الحرارة أو أقل" وقد دلت خطوط فرانهوفر على أن الشمس تحتوى على حوالى ٢٠ عنصر من العناصر المعروفة لنا على سطح الأرض وأكبر نسبة من الهيدروجين والهيليوم (٧٠ % من كتلة الشمس هيدروجين، ٢٨ % هيليوم، ٢ % عناصر ثقيلة أخرى).



خطوط فراونهوفر Fraunhofer lines

هي مجموعة من الخطوط الطيفية في طيف الشمس ناشئة عن الامتصاص الرنيني للغازات في الغلاف الضوئي للشمس، وسميت هذه الخطوط نسبةً إلى عالم الفيزياء الألماني جوزيف فون فراونهوفر.

حيث لاحظ العالم البريطاني وليام هايد ولاستون في عام ١٨٠٢ أن طيف الضوء المرئي لأشعة الشمس يحوى خطوطاً عديدة معتمة ولم يمر وقت طويل حتى استطاع العالم الألماني جوزيف فون فرانهوفر بناء أول مطياف خاص، حيث مرر أشعة الشمس في تليسكوب صغير ثم مرر الضوء في فتحة صغيرة ومنه عبر منشور زجاجي ليحصل على طيف الشمس المرئي بصورة واضحة للغاية وأظهر العديد من الخطوط السوداء المعتمة التي تتخلله تسمى خطوط امتصاص وقد قام فرانهوفر باستخدام مطيافه بقياس وتصنيف ما يزيد على ٦٠٠ خط امتصاص معتم في طيف الشمس وسميت هذه الخطوط نسبة له بخطوط فرانهوفر.

كيفية تكوين خطوط فراونهوف:

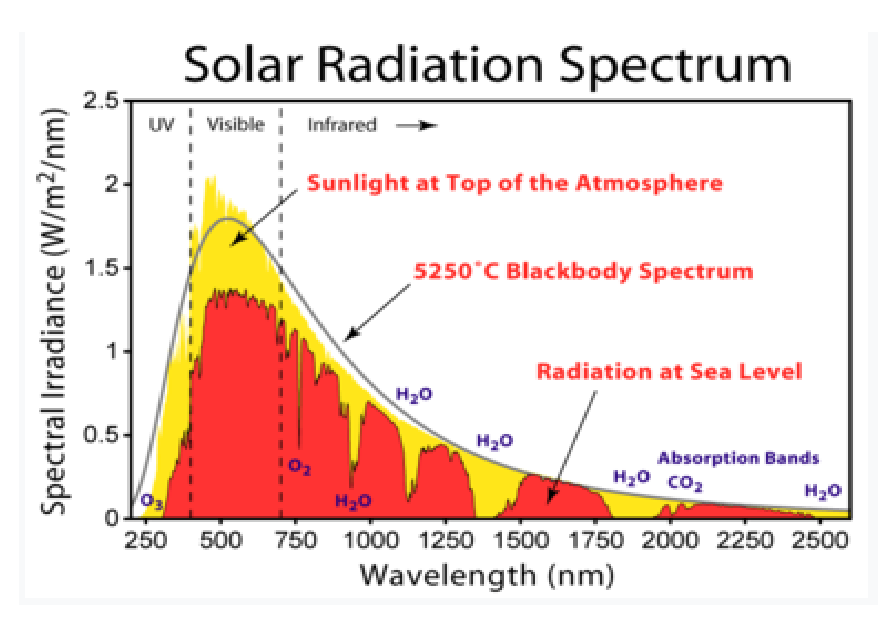
عندما يمر الضوء المرئي خارجاً من سطح الشمس عبر طبقتي الفوتوسفير والكروموسفير فوق الشمس يتم امتصاص جزء من الضوء ذو أطوال موجية معينة عن طريق ذرات وأيونات في هذه الطبقات المحيطة بالشمس مما يسبب فقدانها من طيف الشمس المرئي وظهور خطوط سوداء معتمة مكانها، فعندما يمر الضوء خلال المواد (هيدروجين – صوديوم ......) تمتص بعض الذرات جزء من الطيف الضوئي ينتج طيف ضوئي مميز لكل مادة يسمى طيف الامتصاص لتلك المادة، وهذا الأمر ساعد العلماء على معرفة مكونات النجوم بدراسة الطيف المنبعث منها وتحليل مكوناته بدقة.

أشعة الشمس أو الأشعة الشمسية أو ضوء الشمس هو عبارة عن مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية، يمكن للإنسان رؤية جزء منها يسمى ضوء مرئي وبقيتة لا يري بالعين المجردة، وتتميز الأشعة المرئية من طيف الشمس بأنها تتكون من أشعة لونية من الأحمر إلى البنفسجي وهى ألوان قوس قزح حيث الطول الموجي للون الأحمر ٧٠٠ نانومتر والبنفسجي ٤٠٠ نانومتر، ومن المعروف أنه كلما زادت موجة الضوء كلما انخفضت طاقته، وهذا يعنى أن الأشعة فوق البنفسجية طاقتها عالية نسبياً، ولذلك فهي ضارة لجلد الإنسان إذا تعرض إليها طويلا.

ويبلغ متوسط القدرة للطاقة الشمسية الساقطة على المتر المربع من سطح الأرض حوالي ١٣٦٧ كيلو وات لكل متر مربع والذى يسمى الثابت الشمسي.

الثابت الشمسي: Solar constant

هو معدل الطاقة الشمسية أو كمية الطاقة الحرارية التي تسقط من الشمس عمودياً على وحدة المساحات من سطح الأرض في وحدة الزمن عند مسافة متوسطة بين الشمس والأرض (حيث تتغير هذه المسافة علي مدار السنة)، وحسب وكالة ناسا فقيمة هذا الثابت ١٣٥٣ ويبر/متر مربع.



طيف الشمس في الفضاء (أصفر) وبعد تخلله جو الأرض (بني) إلى اليسار الأشعة البنفسجية وأشعة إكس، وإلى اليمين نطاق الأشعة تحت الحمراء، وقمة المنحنى عند الضوء المرئي، والمحور السيني يبين طول الموجة الضوئية.

تعتبر الطاقة الشمسية solar energy أحد صور الطاقة المتجددة والتى أصبحت تشكل جزء كبير من اهتمام جميع دول العالم لما لها من أهمية كبيرة فى توفير نسبة عالية من الطاقة التقليدية علاوة على كونها طاقة نظيفة لا تحدث أى تلوث للبيئة بالإضافة لكونها أرخص صور الطاقة المستخدمة الآن.

الإشعاع الشمسي هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحةٍ معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية، ومن المعروف أنه لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو ١٣٠ ميجا وات لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسئول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي.

ويختلف الإشعاع الأرضي عن الإشعاع الشمسي في أن الإشعاع الأرضي أشعة غير مرئية وحرارية طويلة الموجة كما يتميز باستمرار طول اليوم (نهاراً أو ليلاً) بينما يبدأ الإشعاع الشمسي مع شروق الشمس ويبلغ أقصاه بعد الظهر (الزوال) بقليل ويرجع ذلك إلى احتفاظ سطح الأرض بحرارته

فترة من الوقت لطبيعة تكوين قشرة الارض ولتعامد الشمس وقت الزوال، بينما يستمر الإشعاع الأرضي في الزيادة بعض الوقت ويقل الإشعاع الشمسي عقب وقت الزوال بشي تدريجي والإشعاع الشمسي يؤثر تأثيراً مباشراً وغير مباشر على النبات من حيث النمو فالنبات يحتاج للضوء لتتم عملية البناء الضوئي وتوفر الضوء يساعد على تكوين الأزهار.

ويتأثر الإشعاع الشمسي بعدة عوامل منها:

- طبيعة الغلاف الغازي للأرض والمواد العالقة به
- تركيز أشعة الشمس أو الزاوية التي تصل بها أشعة الشمس إلى الأرض
- طول المدة التي تستمر فيها الشمس فوق الأفق وهذا يتغير تبعا للفصول وتبعاً للموقع بالنسبة لدوائر العرض

قياس شدة الاشعاع الشمسي:

الغرض الأساسي من قياس شدة الإشعاع الشمسي يتحدد في معرفة و تسجيل القيم اللحظية والقيم علي المدي الطويل للإشعاع الشمسي المباشر والمشتت والكلي الساقط علي سطح ما، والأجهزة المستخدمة في هذا المجال تعتمد إما علي التأثير الكهروحراري Thermoelectric effect أو التأثير الكهروضوئي Photovoltaic effect وتستخدم ضمن هذه الأجهزة دوائر إلكترونية يمكنها تسجيل وتكامل البيانات اللحظية بحيث يمكن الحصول علي بيانات كل ساعة أو بيانات يومية، ويوجد نوعان شائع استخدامهما في هذا المجال هما:

١- البيرانوميتر Pyranometer

يستخدم في قياس شدة الإشعاع الكلي خلال مدي الرؤية النصف كروي لجهاز القياس، ويحتوي علي نصفي كرة من الزجاج الضوئي الشفاف متحدي المركز، النصف الداخلي يقوم بحجب الأشعة تحت الحمراء القادمة من النصف الخارجي، ويوجد في منتصف الجهاز عدد من الازدواجات الحرارية الموصلة على التوالي لتكون عمود حرارة Thermopile، الوصلة الساخنة للازدواجات الحرارية تكون مطلية باللون الأسود وموجودة علي السطح العلوي (أي معرضة لأشعة الشمس القادمة عبر الغلاف الجوي)، والوصلة الباردة تكون متجهة للأسفل داخل الجهاز ومحجوبة عن الشمس ويحتوي الجهاز علي قرص حماية أبيض لامع وذلك لمنع تأثر الازدواج الحراري بمصدر آخر خلاف الإشعاع الشمسي

المطلوب قياسه، ويعاير هذا الجهاز لقياس الإشعاع الكلي علي السطح الأفقي، و في حالة استخدامه لقياس الإشعاع علي سطح مائل يلزم عمل تصحيح للقراءات المقاسة. ويمكن استخدام البيرانوميتر لقياس الإشعاع المشتت فقط، و ذلك بتظليل سطح استقبال الأشعة في الجهاز لمنع وصول الأشعة المباشرة. وبهذه الطريقة يمكن القول أنه باستخدام هذا الجهاز يمكن و بطريقة غير مباشرة معرفة كل من الإشعاع المباشر والمشتت.

٢- البيرهليوميتر Pyrheliometer

يستخدم لقياس الإشعاع المباشر ويتم حجب الأشعة المشتتة في هذا الجهاز عن طريق وضع حساس القياس (وهو عبارة عن عمود حرارة) في قاع أنبوبة موجهة مباشرة إلي الشمس، الانبوبة المستخدمة تكون نسبة القطر إلي الطول فيها ٠.١ مما يجعل زاوية الرؤية ٥.٧ درجة، و تكون الأنبوبة مطلية باللون الأسود و بها هواء جاف عند الضغط الجوي ويتم تثبيتها علي قاعدة تسمح بتحريكها بسهولة لكي تكون موجهة مباشرة إلي الشمس.



البيرهليوميتر

إمكانية تقدير الاشعاع الشمسي عن طريق درجة الحرارة.

يعتبر الجسم الأسود في الفيزياء جسما مثاليا يمتص كل موجات الضوء الساقطة عليه دون أن يعكس أي منها وكما يمتص الجسم الأسود جميع موجات الضوء الساقطة عليه ويقوم أيضا بإصدار جميع موجات الإشعاع الحراري أي إشعاع الجسم الناتج عن درجة حرارته ويمكن أن يكون الضوء جزءا منها ونذكر هنا بالحديد الساخن يحمر لونه ثم يصفر

ولدراسة إشعاع الأجسام اختار الباحثون الجسم الأسود لهذا الغرض لتناسب خواصه، ويمكن تمثيل الجسم الأسود بفقاعة في مادة صلبة غير شفافة استعملها بعض العلماء بدلا من الجسم الأسود فهي تشاركه نفس الخواص، بوضع تلك الفقاعة عند درجة حرارة ثابتة فتصل إلى حالة التوازن الحراري ويصبح فيها طيف من الموجات الحرارية وقد أثبتت القياسات أن هذا الطيف يعتمد على درجة حرارة جدرانها، فكل درجة حرارة لها يتبعها توزيع معين لطيف إشعاعها الحراري وهذا يحدث تماما مع الجسم الأسود .طيف الجسم الأسود: بانخفاض درجة حرارة الجسم الأسود تنزاح النهاية العظمي للمنحني في اتجاه شدة ضوء أقل، وطول موجة أطول.

وإذا وضع جسم أسود وله حرارة معينة بالقرب من أجسام أخرى في حالة إتزان حراري فإنه في المتوسط يُشع من الموجات الحرارية بقدر ما يمتصه وهذه الحالة تسمي حالة الاتزان الحراري الشكل على اليسار يبين عدة أطياف لإشعاع الجسم الأسود وهي تبين العلاقة بين فيض الطاقة الصادرة وطول موجة الموجة حيث تمتد طول الموجة من كذا إلى كذا . ونجد أن هذا التوزيع يتميز بقمة عند طول موجة مقداره نحو كذا .كما نلاحظ أن تلك القمة تنزاح نحو طول موجة أقصر بارتفاع درجة الحرارة , وتزيد في نفس الوقت كمية الطاقة المشعة(وهي تعادل المساحة تحت كل منحنى).

أهمية الطاقة الشمسية:

تكمن أهمية الطاقة الشمسية بداية بأن أشعة الشمس سهلت عمليات التطور في الكائنات الحية وهي المسئولة عن عمليات البناء الضوئي في النباتات لإنتاج الغذاء والكتلة الحيوية بالإضافة إلى دور هذه الأشعة في الطاقة المائية وطاقة الرياح. وأيضاً هنالك أهمية كبيرة للطاقة الشمسية في زراعة الأرض وإنتاج ونمو المحاصيل وتجفيف الطعام لمنعه من التلف بالإضافة إلى استخدام البيوت البلاستيكية لرفع الحرارة.

إضافة إلى ذلك تعتبر الطاقة الشمسية هي المسئولة عن ما يسمى بمجموعة مصادر الطاقة المتجددة وأهمها، ومن الملاحظ زياده أهمية الطاقة الشمسية كمصدر من مصادر الطاقة المتجددة لأنها لا تتناقص وذي طابع

غير ملوث، في الوقت الذي أصبح فيه تناقص ملحوظ في مستويات الوقود الأحفوري والنفط والفحم وبالإضافة إلى الغاز الطبيعي.

تطبيقات استغلال الطاقة الشمسية

يوجد عدد كبير من التطبيقات على استغلال الطاقة الشمسية في حياتنا منها القديمة والحديثة التي تواكب تكنولوجيا العصر، ومن أشهرها:

تطبيقات قديمة:

- توجيه البيوت ونوافذها باتجاه أشعة الشمس، بحيث يستفاد من الضوء والحرارة في المنازل
- اختيار نوع المواد في البناء بحيث تكون قادرة على امتصاص وتخزين الحرارة
- الزراعة في البيوت البلاستيكية أو الحرارية، حيث تقوم بتحويل أشعة الشمس إلى طاقة حرارية، والتي أسهمت في تسهيل عملية زراعة ونمو النباتات في غير موسمها.
- الطبخ باستخدام الطّباخ الشمسي، وهو عبارة عن صندوق يتم فيه جمع أشعة الشمس واستغلال حرارتها في طبخ الطّعام، حيث صنع لأول مرة سنة ١٧٦٧ من قبل الفيزيائي السويسري (Horace de Saussure).
- تعقيم الأدوات، ذُكر أنه في بعض المناطق كان يُستخدم طباخ شمسي معدل ومتخصص لغرض تعقيم الأدوات الطبية في العيادات.
- التسخين باستخدام السّخان الشمسي، الذي يستغل الأشعة الشمسية ويستخدمها لتسخين المياه في المنازل والمباني عن طريق نظام متخصص من الألواح الشمسية والمثبت على أسطح المباني.
- تعقيم المياه، ذكرت الدراسات أنه عند تعرض المياه لعدة ساعات لأشعة الشّمس يقلّل وجود البكتيريا والفيروسات والطفيليات الموجودة فيها، حيث أن هنالك أكثر من ٢ مليون شخص في الدول النامية يستخدمون هذه الطريقة يومياً.

التطبيقات الحديثة:

- عملية توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية وأشهر طريقتين لتوليدها: الخلايا الشمسية، والتي تحول أشعه الشمس إلى كهرباء

مباشرة، تعتبر كمية الطاقة المولّدة في الخلية الواحدة قليلة نسبياً لذلك من الضروري جمع عدد كبير من الخلايا معاً كالموجودة في الألواح الشمسية على أسطح المباني لتوليد الطاقة الكافية، واستخدم هذا النوع من الخلايا في الأقمار الصناعية وشبكات الاتصال على مستوى الفضاء، وعلى مستوى الأرض فقد استخدمت هذه الخلايا في الآلات الحاسبة والساعات والمنازل والمباني التجارية وحتى الملاعب، حيث بني ملعب Kaohsiung World Stadiumفي تايوان عام ٢٠٠٩ وتم استخدام ٨٨٠٠ لوح شمسي في أعلى الملعب. تكنولوجيا تركيز الطاقة الشمسية، تستخدم هنا حرارة الشمس بدلاً من الأشعة كما في الخلايا الشمسية، بحيث يوجد مجموعة عدسات أو مرايا تركز الضوء من الشمس على شكل شعاع يستخدم لجعل سخان مياه يبدأ بالعمل والذي بدوره ينتج بخار يحفز توربينات للبدء في إنتاج الكهرباء.

مميزات الكهرباء الناتجة من الطاقة الشّمسية

هنالك العديد من المميزات والإيجابيات التي تمتاز فيها الطاقة الشمسية والكهرباء المولدة منها، ومن أهمها:

- كلفة إنتاج وتوليد الطاقة منخفضة.
- ضمان التخلّص من ارتفاع أسعار الكهرباء لأصحاب البيوت.
- مصدر طاقة متجدد ودائم حيث قدرت وكالة ناسا بأن الشمس ستستمر بالإشعاع لمدة ٦.٥ مليار سنة.
- تعتبر صديقة للبيئة فهي غير مسببة للتلوث.
- الإشعاع متاح جغرافياً بشكل واسع.
- تقليل تكلفة الكهرباء المستهلكة (حيث يمكن لمالكي البيوت بيع الفائض عن حاجتهم بعد إنتاج الطاقة).
- استخدام الألواح الشمسية الجماعية يقلل ويتغلب على مشاكل التثبيت والتركيب الفردي لكل منزل.
- قلّة الأجزاء المتحركة فبالتالي قلّة الحاجة للصيانة بالمقارنة مع الطاقة المولدة من الرياح.
- الدعم المادي من الحكومات والبلدان.

أساليب تخزين الطاقة الشمسية

يمكن تخزين الطاقة الشمسية في عدة طرق ومنها:

- تخزينها في بطاريات مخصصة أو موسعات كبيرة ومن ثم استخدامها في الليل أو عندما تكون الغيوم حاجبة للشمس.
- توظيف ضوء الشمس لإنتاج الوقود، فمثلا بعض الخلايا الكهروكيموضوئية تستخدم الطاقة الشمسية لشطر جزيء الماء إلى هيدروجين وأكسجين وبالتالي تخزينهم على شكل وقود (غاز)، وعند الحاجة يتم دمج هذين الغازين مره أخرى لإنتاج الكهرباء عن طريق جهاز يسمى خلية الوقود.
- يمكن تخزين الطاقة الحرارية المركزة من أشعة الشمس في ملح مذاب أو محلول ملحي على درجة حرارة عالية وعند الحاجة للكهرباء يتم نقل الحرارة من الملح المذاب إلى الماء عن طريق جهاز يغير الحرارة لتوليد بخار يفعل توربينات مخصصة لتنتج الكهرباء.



SOME PHYSICAL CONSTANTS*

Speed of light	c	2.998×10^{8} m/s
Gravitational constant	G	6.673×10^{-11} N · m²/kg²
Avogadro constant	N_A	6.022×10^{23} mol^{-1}
Universal gas constant	R	8.314 J/mol · K
Mass–energy relation	c^2	8.988×10^{16} J/kg
		931.49 MeV/u
Permittivity constant	ε_0	8.854×10^{-12} F/m
Permeability constant	μ_0	1.257×10^{-6} H/m
Planck constant	h	6.626×10^{-34} J · s
		4.136×10^{-15} eV · s
Boltzmann constant	k	1.381×10^{-23} J/K
		8.617×10^{-5} eV/K
Elementary charge	e	1.602×10^{-19} C
Electron mass	m_e	9.109×10^{-31} kg
Proton mass	m_p	1.673×10^{-27} kg
Neutron mass	m_n	1.675×10^{-27} kg
Deuteron mass	m_d	3.344×10^{-27} kg
Bohr radius	a	5.292×10^{-11} m
Bohr magneton	μ_B	9.274×10^{-24} J/T
		5.788×10^{-5} eV/T
Rydberg constant	R	$1.097\,373 \times 10^{7}$ m^{-1}

*For a more complete list, showing also the best experimental values, see Appendix B.

THE GREEK ALPHABET

Alpha	A	α	Iota	I	ι	Rho	P	ρ
Beta	B	β	Kappa	K	κ	Sigma	Σ	σ
Gamma	Γ	γ	Lambda	Λ	λ	Tau	T	τ
Delta	Δ	δ	Mu	M	μ	Upsilon	Υ	υ
Epsilon	E	ϵ	Nu	N	ν	Phi	Φ	ϕ, φ
Zeta	Z	ζ	Xi	Ξ	ξ	Chi	X	χ
Eta	H	η	Omicron	O	o	Psi	Ψ	ψ
Theta	Θ	θ	Pi	Π	π	Omega	Ω	ω

SOME CONVERSION FACTORS*

Mass and Density

1 kg = 1000 g = 6.02×10^{26} u

1 slug = 14.59 kg

1 u = 1.661×10^{-27} kg

1 kg/m^3 = 10^{-3} g/cm^3

Length and Volume

1 m = 100 cm = 39.4 in. = 3.28 ft

1 mi = 1.61 km = 5280 ft

1 in. = 2.54 cm

1 nm = 10^{-9} m = 10 Å

1 pm = 10^{-12} m = 1000 fm

1 light-year = 9.461×10^{15} m

1 m^3 = 1000 L = 35.3 ft^3 = 264 gal

Time

1 d = 86 400 s

1 y = $365\frac{1}{4}$ d = 3.16×10^7 s

Angular Measure

1 rad = 57.3° = 0.159 rev

π rad = 180° = $\frac{1}{2}$ rev

Speed

1 m/s = 3.28 ft/s = 2.24 mi/h

1 km/h = 0.621 mi/h = 0.278 m/s

Force and Pressure

1 N = 10^5 dyne = 0.225 lb

1 lb = 4.45 N

1 ton = 2000 lb

1 Pa = 1 N/m^2 = 10 dyne/cm^2
= 1.45×10^{-4} lb/in.^{2}

1 atm = 1.01×10^5 Pa = 14.7 lb/in.^{2}
= 76.0 cm Hg

Energy and Power

1 J = 10^7 erg = 0.2389 cal = 0.738 ft · lb

1 kW · h = 3.6×10^6 J

1 cal = 4.1868 J

1 eV = 1.602×10^{-19} J

1 horsepower = 746 W = 550 ft · lb/s

Magnetism

1 T = 1 Wb/m^2 = 10^4 gauss

*See Appendix D for a more complete list.

أولاً: الثوابت الفيزيائية والكيميائية الهامة

القيمة Value		الرمز Symbol	الكمية	
Traditional Units	SI units			
1 amu = $1.660538782 \times 10^{-24}$ g 1 g = $6.02214179 \times 10^{23}$ amu	1 amu = $1.660538782 \times 10^{-27}$ kg	amu or u	Atomic mass unit (amu) $m_u = \left(\frac{m^{12}C}{12}\right)$ $\left(\left(\frac{1}{12}\right)\text{the mass of } ^{12}C \text{ atom}\right)$	وحدة الكتلة الذرية
$N_A = 6.02214179 \times 10^{23}$ particles/mol		N_A	Avogadro's number	عدد أفوجادرو
$a_0 = 0.52918$ Å $a_0 = 5.2918 \times 10^{-9}$ cm	$a_0 = 5.2918 \times 10^{-11}$ m	a_0	Bohr radius	نصف قطر بوهر
$e = 4.8033 \times 10^{-10}$ esu	$e = 1.602176487 \times 10^{-19}$ C (coulomb)	e	Electronic charge Electron charge Charge on an electron	الشحنة الإلكترونية

القيمة Value		الرمز Symbol	الكمية	
Traditional Units	SI units			
$e/m = 1.75882 \times 10^{8}$ coulomb/g	$e/m = 1.75882 \times 10^{11}$ C/kg	e/m	Charge-to-mass ratio of electron	نسبة الشحنة إلى كتلة الإلكترون
$h = 6.62620 \times 10^{-27}$ erg . s	$h = 6.62606896 \times 10^{-34}$ J. s	h	Planck's constant	ثابت بلانك
$m_e = 5.48579909 \times 10^{-4}$ amu $m_e = 9.10938215 \times 10^{-28}$ g	$m_e = 9.10938215 \times 10^{-31}$ kg	m_e	Mass of electron Rest mass of an electron	كتلة الإلكترون عند السكون
$m_p = 1.007276467$ amu (or u) $m_p = 1.672621637 \times 10^{-24}$ g	$m_p = 1.672621637 \times 10^{-27}$ kg	m_p	Mass of proton Proton rest mass Rest mass of a proton	كتلة البروتون
$m_n = 1.008664916$ amu (or u) $m_n = 1.67495 \times 10^{-24}$ g	$m_n = 1.674927211 \times 10^{-27}$ kg	m_n	Mass of neutron Neutron rest mass Rest mass of a neutron	كتلة النيوترون
$F = 96485.3399$ coulombs/equivalent $F = 23.06$ kcal/volt. eq	$F = 96485.3399$ C/mol e^- $F = 96485.3399$ J/V . mol e^-	F	Faraday's constant	ثابت فاراداي
$R_\infty = 3.289 \times 10^{15}$ cycles/s $R_\infty = 1.09737318 \times 10^{-2}$ nm^{-1} $R_\infty = 2.1799 \times 10^{-11}$ erg	$R_\infty = 1.09737318 \times 10^{7}$ m^{-1} $R_\infty = 2.1799 \times 10^{-18}$ J	R_∞	Rydberg constant	ثابت ريدبيرغ
$R = 8.31451 \times 10^{7}$ erg/ mol . K $R = 82.055$ cm^3. atm/ mol . K $R = 0.082058205$ L. atm/ mol . K $R = 1.9872$ cal/ mol . K	$R = 8.314472$ kPa . dm^3/mol . K $R = 8.314472$ J / mol K	R	Ideal gas constant	ثابت الغاز المثالي

القيمة Value		الرمز Symbol	الكمية	
Traditional Units	SI units			
$V_m = 22.414$ L/mol	$V_m = 22.414 \times 10^{-3}$ m^3/mol $V_m = 22.414$ dm^3/mol	V_m	Molar gas volume	الحجم الغازي المولاري (STP)
$k = 1.3806504 \times 10^{-16}$ erg/K	$k = 1.3806504 \times 10^{-23}$ J/K	k	Boltzmann's constant	ثابت بولتزمان
$c = 2.99792458 \times 10^{10}$ cm s^{-1}	$c = 2.99792458 \times 10^{8}$ m s^{-1}	c	Speed of light in a vacuum	سرعة الضوء في الفراغ
$g = 980.66$ cm/s^2	$g = 9.8066$ m/s^2	g	Acceleration of gravity Gravitational acceleration	عجلة التسارع
$E_0 = 8.8542 \times 10^{-12}$ $C^2 J^{-1} m^{-1}$		E_0	Permittivity of a vacuum	نفاذية الفراغ
$C = 75.376$ J/mol K		C	Heat Capacity of Water	السعة الحرارية للماء
1 atm = 101325 N m^{-2}		1 atm	Atmospheric pressure	الضغط الجوي
1 eV = 2.3060×10^{4} cal/mol	1 eV = 96485 J/mol	eV	Electron volt	إلكترون فولت
$\pi = 3.141592654$		π	Pi	باي
1 A = 1 C/s		A	Ampere	وحدة التيار (Current) : الأمبير
1 N = 1 kg . m/s^2		N	Newton	وحدة القوة (Force) : النيوتن
1 W = 1 J/s		W	Watt	وحدة الطاقة (Power) : الواط
1 h = 60 min. = 3600 s		h	Hour	وحدة الزمن (Time) : الساعة
1 V = 1 J/C		V	Volt	وحدة الجهد (Voltage) : الفولت

ثانياً: وحدات النظام الدولي الأساسية Basic SI Units

رمز الوحدة Symbol	اسم الوحدة Name of Unit		الرمز	الكمية الفيزيائية Physical Quantity	
m	meter	متر	L	Length	المسافة
kg	kilogram	كيلو جرام	m	Mass	الكتلة
s	second	ثانية	t	Time	الزمن
K	Kelvin	كالفن	T	Temperature	درجة الحرارة الثيرموديناميكية
mol	mole	مول	n	Amount of substance	كمية المادة
A	ampere	أمبير	I	Electric current	التيار الكهربي
cd	candela	كانديلا (شمعة)	I_v	Luminous intensity	شدة الاستضاءة

ثالثاً: الوحدات المشتقة من الوحدات الأساسية Derived SI Units

التعريف Definition	الرمز Symbol	اسم الوحدة وتعريفها Definition and Name of Unit			الكمية الفيزيائية Physical Quantity		
m^2	m^2	square meter	متر مربع	مربع الطول	A	Area	المساحة
m^3	m^3	cubic meter	متر مكعب	مكعب الطول	V	Volume	الحجم
kg/m^3	kg/m^3	kilogram per cubic meter	كيلوجرام لكل متر مكعب	الكتلة على وحدة الحجم	d	Density	الكثافة
m/s	m/s	meter per second	متر لكل ثانية	المسافة على وحدة الزمن	u	velocity	السرعة
m/s^2	m/s^2	meter per square second	متر لكل ثانية تربيع	تغير السرعة على وحدة الزمن	g	acceleration	العجلة
$N = Kg . m . s^{-2} = J . m^{-1}$	N	newton	نيوتن	الكتلة مضروبة في العجلة	F	Force	القوة
$N. m^{-2} = Kg . m^{-1} . s^{-2}$	$N m^{-2}$		نيوتن / متر مربع	القوة على وحدة المساحة	P	Pressure	الضغط
$J = N. m = Kg m^2/ s^2$	J	joule	جول	مضروب القوة في المسافة	E	Energy	الطاقة
$W = Kg m^2 S^{-3} = J . s^{-1}$	W	Watt	واط	معدل تغير الطاقة على الزمن		Power	القدرة (القوة الكهربية)
$C = A . s$	C	A. s = C, coulomb	أمبير × ثانية = كولوم	التيار مضروب في الزمن	q	Electric charge	الشحنة الكهربائية
$V = Kg m^2 s^{-3} A^{-1} = WA^{-1} = J A^{-1} s^{-1} = J/C$	V	volt	فولت	القدرة مقسومة على التيار		Electric potential difference	فرق الجهد الكهربائي
$V. m^{-1}$	$V m^{-1}$	volt per meter	فولت لكل متر	فرق الجهد مقسوم على المسافة			شدة المجال الكهربائي
$\Omega = Kg m^2 s^{-3} A^{-2} = V A^{-1}$	Ω	ohm	فولت/أمبير = أوم	الجهد الكهربائي مقسوم على التيار		Electric resistance	المقاومة الكهربائية
$F = A^2 s^4 Kg^{-1} m^{-2} = C V^{-1} = A s V^{-1}$	F	Farad	كولوم/فولت = فاراد	الشحنة مقسومة على الجهد		Electric capacitance	السعة الكهربائية
$Hz, hertz = s^{-1}$	Hz	Hertz	ثانية$^{-1}$ = هيرتز	واحد على الزمن (عدد الذبذبات في ثانية واحدة)		Frequency	التردد

رابعاً: وحدات لا تدخل ضمن وحدات النظام الدولي SI

الكمية المكافئة في وحدات النظام الدولي	رمز الوحدة Symbol	اسم الوحدة Name of Unit		الكمية
$1\ \mathring{A}$ (Angstrom) $= 1 \times 10^{-10}$ m (meter)	Å	Angstrom	أنجستروم	البعد
1 in (inch) = 0.0254 m	in	inch	إنش	
1 ft (foot) = 0.3048 m	ft	foot	قدم	
I mi (mile) = 1.609 km (kilometer)	mi	mile	ميل	
$1\ L = 1 \times 10^{-3}\ m^3$	L	liter	لتر	الحجم
Ib (pound) = 0.45359 kg (kilogram)	Ib	pound	الباوند	الكتلة
1 dyne $= 1 \times 10^{-5}$ N (newton)	dyne	dyne	الداين	القوة
1 atm (atmosphere) = 101325 $N\ m^{-2}$	atm	atmosphere	الجو	الضغط
1 torr = 133.322 $N\ m^{-2}$	torr	torr	تور	
1 bar = $1 \times 10^5\ N\ m^{-2}$	bar	bar	بار	
1 erg = 1×10^{-7} J (joule)	erg	erg	إرج	الطاقة
1 cal (calorie) = 4.1840 J	cal	calorie	السعر	
1 eV/atom (electron volt/atom) = 1.6021×10^{-19} J	eV	electron volt	إلكترون فولت	
1 hp (horse power) = 745.700 W (watt)	hp	horse power	قوة الحصان (h . p)	القدرة
poise = $10^{-1}\ kg\ m^{-1}\ s^{-1}$	poise	poise	بواز	اللزوجة

خامساً: المضاعفات المستعملة مع وحدات النظام الدوليSI

multiple مضاعفات العشرة	Symbol الرمز	Prefix	البادئة
10^{1}	da	deka	ديكا
10^{2}	h	hecto	هيكتو
10^{3}	k	kilo	كيلو
10^{6}	M	mega	ميجا
10^{9}	G	giga	جيجا
10^{12}	T	tera	تيرا
10^{15}	P	peta	بيتا
10^{18}	E	exa	إكسا
10^{21}	Z	zetta	زيتا
10^{24}	Y	yotta	يوتا

سادساً: الكسور المستعملة مع وحدات النظام الدوليSI

Fraction الأجزاء من العشرة	Symbol الرمز	Prefix	البادئة
10^{-1}	d	deci	دسي
10^{-2}	c	centi	سنتي
10^{-3}	m	milli	ميلي
10^{-6}	µ	micro	مايكرو
10^{-9}	n	nano	نانو
10^{-12}	p	pico	بيكو
10^{-15}	f	femto	فيمتو
10^{-18}	a	atto	أتو
10^{-21}	z	zeyto	زيتو
10^{-24}	y	yocto	يوكتو

سابعاً: معاملات تحويل وعلاقات هامة

Length SI unit : meter (m)	
1 km (kilometer) = 1000 m (meters)	1 yard = 0.9144 m
1 km = 0.62137 mi (mile)	1 yd = 91.44 cm
1 km = 1094 yd (yards)	1 yd = 36 inches
1 mi = 1.60934 km	1 yd = 3 ft
1 mi = 1609.34 m	1 Å (Angstrom) = 1×10^{-10} m
1 mi = 5280 ft	1 Å = 1×10^{-8} cm
1 m = 100 cm (centimeters)	1 Å = 0.10 nanometer
1 m = 39.37 in (inches)	1 Å = 100 picometers
1 m = 3.281 ft	1 picometer = 1.00×10^{-12} meter
1 m = 1.0936 yd (yards)	1 in (inch) = 2.54 cm (exactly)
1 ft = 30.48 cm	1 cm = 0.39370 in.
1 cm = 10 mm (millimeters)	1 µm = 1×10^{-6} m
1 nanometer = 1×10^{-9} meter	

Volume SI unit : cubic meter (m^3)	
1 L (liter) = 1×10^{-3} m^3 (cubic meter)	1 ml = 1 cm^3
1 L = 1 dm^3 (cubic decimeter)	1 gal (gallon) (US) = 4.00 qt
1 L = 1000 cm^3 (cubic centimeters)	1 gal. = 128 fluid ounces
1 L = 1.0567 quarts (qt) (US)	1 gal. = 3.785 L
1 L = 1000 ml (milliliters)	1 ft^3 (cubic foot) = 7.475 gal.
1 L = 1.056710 qt	1 ft^3 = 28.316 L
1 m^3 = 1000 L	1 ft^3 = 29.924 qt
1 qt = 0.946352946 L	1 ft^3 = 7.481 gal.
1 qt = 946.352946 ml	1 in^3 = 16.4 cm^3
1 ml = 0.001 L	1 oz (fluid) = 0.031250 qt
1 ml = 1.056×10^{-3} qt	1 oz (fluid) = 0.029573 L

Pressure SI unit : Pascal (Pa)
1 Pa = 1 N/m^2 (Pa = Pascal) = kg m^{-1} s^{-1}
1 bar = 10^5 Pa
1 atm = 1.01325 bar
1 atm = 101325 Pa (Pascals)
1 atm (atmosphere) = 101.325 kPa (kilopascals)
1 atm = 29.92 in . Hg
1 atm = 760 mm Hg (millimeters of mercury)
1 atm = 760 torr
1 atm = 14.70 Ib/in^2(pounds per square inch)
1torr = 1 mm Hg

Mass SI unit : kilogram (kg)	
1 kg (kilogram) = 1000 grams	1 oz = 28.349523125 g
1 kg = 2.2046 Ib (pounds)	1 oz = 0.06250 Ib
1 g (gram) = 1000 mg (milligrams)	1 short ton = 2000 Ib
1 g = 6.022×10^{23} atomic mass unit (amu)	1 short ton = 907.185 kg
1 amu = $1.660538782 \times 10^{-24}$ g	1 long ton = 2240 lb
1 Ib = 16 oz	1 metric ton = 1000 kg
1 Ib = 453.59237 g	1 metric ton = 1.102 tons
1 Ib = 0.45359237 kg	1 metric ton = 2204.62 Ib
1 Ib = 16 ounces	

Energy SI unit : joule (J)	
1 J (joule) = 1 N . m	1 erg = 6.2415×10^{11} eV
1 J = 1 kg . m^2/s^2	1 eV/atm (electron volt / atom) = $1.6021892 \times 10^{-19}$ J/atom
1 J = 1×10^7 erg	1 eV = 96.485 kJ/mol
1 J = 0.23901 cal (calorie).	1 eV = 23.06 kcal/mol
1 J = 1 C × 1 V	1 MeV = 1.602×10^{-13} J
1 cal = 4.184 J	1 L. atm = 24.217 cal.
1 cal = 4.129×10^{-2} L. atm	1 L. atm = 101.325 J
1 erg = 1 dyne . cm	

Temperature SI unit : Kelvin (K)
0 K = - 273.15 °C
0 K = - 459.67 °F
K = °C + 273.15
$°C = \frac{5(°F - 32°)}{9} = \frac{(°F - 32°)}{1.8}$
$°F = \frac{9}{5}°C + 32° = 1.8\ °C + 32°$
Density
1 g/cm^3 = 1000 kg/m^3
1 Ib/ft^3 = 16.0185 kg/m^3
Electrical Charge
1 esu = 3.33560×10^{-10} C
1 electron = 4.8033×10^{-10} esu
Force
1 Newton = 1 kg . m/s^2
1 Newton = 1×10^5 dynes
1 dyne = 1 g. cm/s^2
Electrical Potential
1 V = 1 J/A.s = 1 J/C

Power
1 W (watt) = 1 J/s
Frequency
1 Hz = 1 Cycles/s
useful relationships
$\lambda . \nu = C$
ln x = 2.303 log x

ثامناً: الحروف الإغريقية

A	α	alpha	ألفا
B	β	beta	بيتا
Γ	γ	gamma	جاما
Δ	δ	delta	دلتا
E	ε	epsilon	ايبسلون
Z	ζ	zeta	زيتا
H	η	eta	إيتا
θ	Θ	theta	ثيتا
ι	I	iota	أيوتا
K	k	kappa	كابا
Λ	λ	lambda	لامبدا
M	μ	mu	ميو
N	ν	nu	نيو
Ξ	ξ	xi	زاي
O	o	omicron	أوميكرون
Π	π	pi	باي
P	ρ	rho	رو
Σ	σ	sigma	سيجما
T	τ	tau	تاو
Υ	υ	upsilon	أوبسيلون
Φ	Ø	phi	فاي
X	χ	chi	كاي
Ψ	ψ	psi	بساي
Ω	ω	omega	أوميجا

المراجع العربية

- محاضرات فى الفيزياء (١٩٨٩)، د/ أحمد محمد فتحى، د/ فتحى على عسكر، د/مصطفى درويش عمارة - قسم الأراضي – كلية الزراعة – جامعة الاسكندرية.
- خواص المادة والحرارة، د/ أحمد شوقي عمارة، د/ سامي عوض عبد المسيح، د/ محمد على العسيري، جامعة الاسكندرية – كلية الهندسة.
- أساسيات الفيزياء إعداد فريدريك بوش أستاذ بجامعة دايتون – وترجمة أ.د / سعيد الجزيرى - أ.د / محمد أمين سليمان ومراجعة أ.د / أحمد فؤاد باشا كلية العلوم – جامعة القاهرة.
- محاضرات فى الفيزياء والأرصاد الجوية إعداد أ.د / أبو النصر هاشم عبد الحميد أ.د / عصمت حسن عطية كلية الزراعة بمشتهر.
- المؤسسة العامة للتطوير المهني والتدريب الفني، المملكة العربية السعودية (١٤٣١هـ): أساسيات الكهرباء.
- أساسيات طبيعة التربة (٢٠١٨)، أ. د/ على محمد عبد الوهاب مشهور، د سيد عبدالرحمن عابدين، دار الكتب المصرية، رقم الايداع ٩٩٣٨
- قوانين في الفيزياء (٢٠١٧)، بنان راجي الكريم

المراجع الأجنبية

- Abbott, A. F. (1989). Physics, fifth edition.
- Ali, R. Fazely (2015). Foundation of Physics for Scientists and Engineers, Vol. 1: Mechanics, Heat and Sound, Ali, R. Fazely & bookboon.com.
- BIRD, J. (2013). Electrical Circuit Theory and Technology. Routledge.
- BIRD, J. (2013). Electrical Circuit Theory and Technology. Routledge.
- Conceptual Physics – 9th Edition, Hewitt
- Daniel Gebreselasie (2015). College Physics 1: Notes and Exercises, Daniel Gebreselasie & bookboon.com.

- FT Exploring (Dave Watson): www.ftexploring.com
- Giorgio Rizzoni (2014). Principles and Applications of Electrical Engineering.
- Giorgio Rizzoni. (2014) Principles and Applications of Electrical Engineering.
- Hughes, E., Hiley, J., Brown, K. And Mckenzie-Smith, I. (2012) Electrical and Electronic Technology.
- Jearl Walker (2016). Fundamentals of Physics, 10th edition, Halliday & Resnick, Wiley.
- Mr. Stanbrough's Physics Class: www.batesvilled.k12.us/physics
- Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr. (2007). Physics for Scientists and Engineers, Seventh Edition, Saunders golden sunburst series, Saunders College Publishing.
- Robert G. Brown (2013). Introductory Physics I, Duke University Physics Department, Copyright Robert G. Brown 1993, 2007, 2013, Durham, NC 27708-0305 rgb@phy.duke.edu
- Satindar Bhagat (2014). Elementary Physics 1: Kinematics, Dynamics and Thermodynamics, Satindar Bhagat & bookboon.com.
- Scott Ziglinski, (2002). The Brilliant Book of Physics for Elementary Teachers,
- Standy, S. B., Edgar P. S. and Erich (1970). Physics Principles, Husmann Affiliated East - West Press PVT.TD.
- The Physics Classroom: www.physicsclassroom.com